

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии

№. NW-T-1.3

Основные
принципы

Цели

Руководства

Технические
доклады

**Обращение с
изъятыми из
употребления
закрытыми
радиоактивными
источниками**



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

ПУБЛИКАЦИИ СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

В соответствии с положениями статей III.A.3 и VIII.C Устава МАГАТЭ уполномочено «способствовать обмену научными и техническими сведениями о применении атомной энергии в мирных целях». В публикациях **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии** представлены положительная практика и технологические достижения, практические примеры и опыт в сфере ядерных реакторов, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и вывода из эксплуатации, а также общие вопросы, относящиеся к ядерной энергии. Структура **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии** подразделяется на четыре уровня.

- 1) Публикации, обозначенные в Серии изданий по ядерной энергии как **«Основные принципы»**, содержат изложение смысла и концепции использования ядерной энергии в мирных целях.
- 2) В публикациях, обозначенных в Серии изданий по ядерной энергии как **«Цели»**, описываются вопросы, которые следует учитывать, и конкретные цели, которые должны быть достигнуты в тематических областях на различных этапах осуществления.
- 3) В публикациях, обозначенных в Серии изданий по ядерной энергии как **«Руководства и методологии»**, предлагаются руководящие принципы высокого уровня или методические рекомендации о том, какими способами можно достичь целей, определенных в рамках различных тем и областей, касающихся использования ядерной энергии в мирных целях.
- 4) В публикациях, обозначенных в Серии изданий по ядерной энергии как **«Технические доклады»**, предоставляется более полная и подробная информация о деятельности, осуществляемой в областях, исследуемых в **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии**.

Для публикаций в серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии применяются следующие обозначения: **NG** — ядерная энергия, общие вопросы; **NR** — ядерные реакторы (ранее **NP** — ядерная энергетика); **NF** — ядерный топливный цикл; **NW** — обращение с радиоактивными отходами и вывод из эксплуатации. Публикации размещены также на сайте МАГАТЭ по адресу:

<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Предлагаем всем пользователям материалов, выходящих в Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии, поделиться с МАГАТЭ своим опытом их использования, что поможет обеспечить соответствие этих материалов потребностям пользователей и в дальнейшем. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ, по почте или по электронной почте на адрес Official.Mail@iaea.org.

ОБРАЩЕНИЕ С ИЗЪЯТЫМИ
ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ
ЗАКРЫТЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

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

СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ, № NW-T-1.3

ОБРАЩЕНИЕ С ИЗЪЯТЫМИ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ЗАКРЫТЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ,
ВЕНА, 2022

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной 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 оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр,
а/я 100,
A1400 Вена, Австрия
Факс: +43 1 26007 22529
Тел.: +43 1 2600 22417
Эл. почта: sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2022 год

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии

Ноябрь 2022 года

STI/PUB/1657

ОБРАЩЕНИЕ С ИЗЪЯТЫМИ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ
ЗАКРЫТЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ
МАГАТЭ, 2021 ГОД

STI/PUB/1657

ISBN 978–92–0–425720–5 (печатный формат)

ISBN 978–92–0–425820–2 (формат pdf)

ISSN 2664–4886

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из уставных целей МАГАТЭ является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире». Для достижения этой цели, в частности, публикуются различные серии документов по техническим вопросам. Две из них — это Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии и Серия норм безопасности МАГАТЭ.

Согласно статье III.A.6 Устава МАГАТЭ, издания Серии норм безопасности устанавливают «нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества». Публикуемые нормы безопасности включают Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности. Эти документы составлены в основном в нормативном стиле и являются обязательными для применения МАГАТЭ в его собственных программах. Основными пользователями являются регулирующие органы в государствах-членах и другие национальные компетентные органы.

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из докладов, имеющих целью способствовать и содействовать НИОКР в области ядерной энергии, а также ее мирному применению. Эти доклады включают практические примеры, которые могут использоваться, в частности, владельцами и операторами предприятий энергохозяйства в государствах-членах, организациями-исполнителями, научными работниками и государственными должностными лицами. Такая информация представлена в руководствах, докладах о состоянии дел и достижениях в области технологий, а также в примерах наилучшей практики использования ядерной энергии в мирных целях, подготовленных на основе представленных международными экспертами материалов. Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии дополняет Серию норм безопасности МАГАТЭ.

На протяжении многих десятилетий в промышленности, медицине и научных исследованиях в государствах-членах широко используются закрытые радиоактивные источники. Хотя в большинстве государств-членов сформирована нормативно-правовая база, позволяющая контролировать закрытые радиоактивные источники, и имеются соответствующие технические возможности для надлежащего обращения с ними, по-прежнему сохраняется ряд неясных моментов, касающихся обращения с этими источниками на протяжении их жизненного цикла. Современные схемы и практика обращения с источниками в государствах-членах могут носить несколько противоречивый характер и создавать проблемы на этапе хранения, особенно в том, что касается захоронения изъятых из употребления источников. Так, например, нет единодушия по поводу надлежащих методов кондиционирования источников, находящихся в центральном промежуточном хранилище. В большинстве случаев используемые методы во многом определяются имеющимися пунктами хранения, которые могли быть построены в расчете главным образом на другие типы отходов. Опыт работы МАГАТЭ с государствами-членами показывает, что характерные для многих государств-членов скромная инфраструктура и ограниченный бюджет диктуют необходимость простых решений, которые были бы недорогими и несложными в применении, но при этом не ставили бы под угрозу техническую или физическую безопасность.

Признавая, что государства-члены нуждаются в помощи в вопросах безопасного и эффективного обращения с изъятymi из употребления источниками, МАГАТЭ разработало «План действий по обеспечению безопасности источников излучения и сохранности радиоактивных материалов», который нацелен на подготовку серии публикаций, посвященных манипулированию с такими источниками, их кондиционированию, хранению и захоронению. Публикации этой серии, например «Технические руководства по обращению с низко- и среднеактивными отходами, образующимися в небольших ядерных исследовательских центрах и при использовании радиоизотопов в медицине, исследованиях и промышленности», выпускаются с 1990-х годов с целью удовлетворения потребностей развивающихся государств-членов и содержат рекомендации технологического характера, которые помогают обеспечить соблюдение требований, реализовать

соответствующие решения и учесть критерии, установленные в публикациях МАГАТЭ, а также могут быть легко интегрированы в общую национальную программу.

Хотя эти издававшиеся на протяжении последних двух десятилетий публикации оказались полезными для государств-членов, было сочтено, что они нуждаются в переработке и обновлении, чтобы отразить новые тенденции и обеспечить соответствие современным стандартам. С учетом того, что ранее опубликованные доклады были посвящены конкретным аспектам обращения с изъятymi из употребления закрытыми источниками применительно к разным категориям источников, настоящая публикация могла бы рассматриваться как удачная возможность объединить их содержание в единый доклад.

До недавнего времени основное внимание уделялось соображениям безопасности радиоактивных источников, при этом соображения сохранности рассматривались как один из аспектов безопасности. Однако ввиду возможности использования радиоактивных источников для совершения злоумышленных действий вопросы обеспечения сохранности таких источников приобретают все большую актуальность. Обеспечить защиту от злоумышленного использования помогает новый подход, предусматривающий контроль над радиоактивными источниками в течение всего их жизненного цикла. Это означает, что вопросам сохранности должно придаваться первостепенное значение на протяжении всего жизненного цикла радиоактивных источников, включая такие этапы, как изготовление, сбыт, установка, ввод в эксплуатацию, использование, хранение и захоронение.

В настоящем докладе обобщается информация, которая была представлена в более ранних публикациях МАГАТЭ, и приводятся отвечающие современным требованиям руководящие указания по обращению с изъятymi из употребления закрытыми радиоактивными источниками. Чтобы помочь избежать ошибок, которые допускались в прошлом при обращении с изъятymi из употребления источниками, в доклад также включены сведения о возникших проблемах и извлеченных уроках.

Ответственными за подготовку настоящей публикации сотрудниками МАГАТЭ являлись Я. Балла и Х.К. Бенитес-Наварро из Отдела ядерного топливного цикла и технологии обращения с отходами.

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Настоящий доклад был отредактирован редакционным персоналом МАГАТЭ в той степени, в какой это было сочтено необходимым для удобства читателей. В нем не затрагиваются вопросы ответственности — юридической или иного рода — за действия или бездействие со стороны какого-либо лица.

Хотя для обеспечения точности информации, содержащейся в настоящей публикации, были приложены большие усилия, ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не несут ответственности за последствия, которые могут возникнуть в результате ее использования.

Использование тех или иных названий стран или территорий не означает какого-либо суждения со стороны издателя — МАГАТЭ — относительно правового статуса таких стран или территорий, их органов и учреждений либо относительно определения их границ.

Упоминание названий конкретных компаний или продуктов (независимо от того, указаны ли они как зарегистрированные) не означает какого-либо намерения нарушить права собственности и не должно рассматриваться как одобрение или рекомендация со стороны МАГАТЭ.

МАГАТЭ не несет ответственности за постоянство и точность приводимых в настоящей публикации адресов сайтов внешних или третьих сторон и не гарантирует того, что информационное наполнение таких сайтов является или останется точным и релевантным.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
1.1.	Общие сведения	1
1.2.	Цель	3
1.3.	Сфера охвата	3
1.4.	Структура	4
2.	ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРЫТЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ	6
2.1.	Радиологические, физические и химические характеристики	6
2.1.1.	Физическая форма	7
2.1.2.	Вид излучения	7
2.1.3.	Физические и химические характеристики радионуклидов	7
2.2.	Конструктивное исполнение	13
2.2.1.	Источники гамма-излучения	13
2.2.2.	Источники альфа-излучения	14
2.2.3.	Источники бета-излучения	15
2.2.4.	Источники нейтронов	15
2.3.	Размеры	15
2.4.	Физическое состояние	17
3.	КАТЕГОРИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ	18
3.1.	Обоснование принципов категоризации радиоактивных источников	18
3.2.	Система категоризации источников МАГАТЭ	19
3.3.	Принципы разделения источников по категориям безопасности МАГАТЭ	21
3.4.	Классификация источников по системе ИСО	22
4.	ПРИМЕНЕНИЯ, УСТРОЙСТВА И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ	24
4.1.	Устройства и источники категории 1	24
4.1.1.	Радиоизотопные термоэлектрические генераторы	24
4.1.2.	Облучатели	25
4.1.3.	Аппараты дистанционной лучевой терапии	30
4.1.4.	Стационарные установки для многолучевой телетерапии (гамма-ножи)	32
4.2.	Устройства и источники категории 2	33
4.2.1.	Излучатели для промышленной гамма-радиографии	33
4.2.2.	Аппараты для брахитерапии с высокой/средней мощностью дозы	35
4.2.3.	Калибровочные системы	36
4.3.	Устройства и источники категории 3	38
4.3.1.	Стационарные промышленные измерительные приборы	38
4.3.2.	Каротажное оборудование	39
4.3.3.	Кардиостимуляторы	42
4.4.	Устройства и источники категории 4	42
4.4.1.	Источники для брахитерапии с низкой мощностью дозы	42
4.4.2.	Толщиномеры/уровнемеры	42

4.4.3.	Портативные влагомеры/плотномеры	44
4.4.4.	Костные денситометры	45
4.4.5.	Нейтрализаторы статического электричества	45
4.5.	Устройства и источники категории 5	47
4.6.	Особые случаи	48
4.6.1.	Молниеотводы	48
4.6.2.	Использование в научно-исследовательских и учебных целях	48
4.6.3.	Использование в военных целях	50
4.7.	Масса и размеры типичных устройств	50
5.	ПРИНЦИПЫ ОБРАЩЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К НЕМУ	53
5.1.	Регулирующий контроль	54
5.2.	Ответственность	54
5.2.1.	Производитель источника	56
5.2.2.	Производитель устройства/оборудования	56
5.2.3.	Дистрибьютор	56
5.2.4.	Пользователь	56
5.2.5.	Центральная организация по обращению с радиоактивными отходами	57
5.2.6.	Пункт захоронения	57
5.3.	Реестр закрытых радиоактивных источников	57
5.4.	Перевод источников в категорию изъятых из употребления	58
5.4.1.	Спад активности	58
5.4.2.	Разгерметизация или повреждение	59
5.4.3.	Устаревшее оборудование	59
5.4.4.	Альтернативные технологии	59
5.4.5.	Смена приоритетов	59
5.4.6.	Бесхозные источники	60
5.5.	Финансирование	60
5.5.1.	Распределение затрат	60
5.5.2.	Неопределенность уровня затрат	61
5.5.3.	Отсутствие схемы передачи права собственности	61
5.6.	Технические возможности	62
5.6.1.	Объект пользователя	62
5.6.2.	ЦОРО	62
5.6.3.	Пункт захоронения	62
5.7.	Подготовка кадров	63
5.8.	Система управления	64
5.8.1.	Проблемы системы управления	65
5.8.2.	Процедуры системы управления	65
5.8.3.	Дифференцированный подход	66
5.8.4.	Ведение учета	66
5.8.5.	Разработка и контроль процессов	67
5.9.	Аварийная готовность и реагирование	67
5.10.	Сохранность радиоактивных источников	68
5.11.	Контроль критичности	69
5.12.	Радиационный мониторинг	69
5.13.	Возникшие проблемы и извлеченные уроки	70
5.13.1.	Особенности системы регулирования	70
5.13.2.	Качество реестра источников	71
5.13.3.	Освобождение от контроля	73

5.13.4. Финансирование	73
5.13.5. Ведение учета	73
5.13.6. Оценка системы управления	74
6. СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ	75
6.1. Предварительные условия разработки стратегии	75
6.2. Альтернативные стратегии обращения	76
6.2.1. Передача другому уполномоченному пользователю	78
6.2.2. Возврат производителю или поставщику	78
6.2.3. Хранение перед захоронением	79
6.2.4. Захоронение	80
6.3. Типы объектов	81
6.3.1. Объекты совместного пользования	81
6.3.2. Централизованные объекты	81
6.3.3. Мобильные установки	81
6.4. Разработка стратегии обращения	82
6.5. Возникшие проблемы и извлеченные уроки	83
6.5.1. Общие замечания	83
6.5.2. Передача другому уполномоченному пользователю	83
6.5.3. Возврат производителю или поставщику	83
6.5.4. Хранение перед захоронением	84
6.5.5. Захоронение	84
7. ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ	85
7.1. Необходимая информация	85
7.2. Группы, выделяемые при характеристике изъятых из употребления источников	85
7.3. Идентификация источников	86
7.4. Характеризация недокументированных источников	89
7.4.1. Требования к системе характеристики	89
7.4.2. Работа с ретроспективными данными	90
7.4.3. Характеризация методами неразрушающего анализа	90
7.4.4. Характеризация разрушающими методами	91
7.5. Характеризация негерметичных источников	91
7.6. Извлеченные уроки	92
8. ОБРАЩЕНИЕ С ИСТОЧНИКАМИ	93
8.1. Требования безопасности при обращении	93
8.2. Планирование работы	93
8.3. Обычные операции по обращению с источниками	94
8.3.1. Сбор	94
8.3.2. Разделение	95
8.3.3. Извлечение источников из устройств	96
8.3.4. Перемещение в пределах объекта	97
8.4. Оборудование и инструменты для работы с источниками	98
8.4.1. Щипцы и временное экранирование	98
8.4.2. Вытяжной шкаф	100
8.4.3. Горячие камеры	101

8.4.4. Контейнеры	102
8.4.5. Подъемно-транспортное оборудование	103
8.5. Проблемы, возникающие при обращении с высокоактивными источниками.	104
9. ХРАНЕНИЕ	106
9.1. Требования к конструкции упаковки ИЗРИ	107
9.2. Требования к проектированию пунктов хранения	108
9.3. Требования к эксплуатации пунктов хранения	109
9.3.1. Прием и размещение	109
9.3.2. Дополнительное экранирование	110
9.3.3. Контроль целостности	110
9.3.4. Извлечение и отгрузка	111
9.3.5. Системы физической защиты	111
9.4. Примеры хранилищ, устраиваемых на объекте	112
9.4.1. Встроенные в пол сейфы	112
9.4.2. Защищенные от взлома помещения	113
9.4.3. Бетонные бункеры/хранилища камерного типа	114
9.4.4. Сравнение систем хранения на объекте	114
9.4.5. Возникшие проблемы и извлеченные уроки	115
9.5. Примеры централизованных пунктов хранения	119
9.5.1. Подземное хранилище	120
9.5.2. Наземное хранилище	122
9.5.3. Возникшие проблемы и извлеченные уроки	124
10. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ	128
10.1. Влияние требований, касающихся приемлемости упаковки.	128
10.2. Спецификации упаковки отходов.	129
10.3. Требования к проектированию пунктов кондиционирования.	130
10.4. Требования к эксплуатации пунктов кондиционирования	130
10.5. Выбор метода кондиционирования	131
10.5.1. Критерии отбора.	131
10.5.2. Выбор материалов для упаковок отходов	132
10.6. Методы кондиционирования	132
10.6.1. Изъятые из употребления источники на основе короткоживущих радионуклидов	133
10.6.2. Изъятые из употребления источники на основе долгоживущих радионуклидов	134
10.6.3. Источники нейтронов	137
10.6.4. Изъятые из употребления высокоактивные источники	139
10.7. Передвижная горячая камера МАГАТЭ.	141
10.8. Извлеченные уроки	143
10.8.1. Короткоживущие источники	143
10.8.2. Долгоживущие источники	143
10.8.3. Высокоактивные источники	144
11. ПЕРЕВОЗКА	145
11.1. Правила перевозки	145
11.2. Варианты перевозки	147

11.2.1. Источник оставлен в заводском держателе	147
11.2.2. Источник извлечен из заводского держателя.	150
11.3. Возникшие проблемы и извлеченные уроки.	153
11.3.1. Недостаточное финансирование.	153
11.3.2. Трудности при лицензировании	154
11.3.3. Отсутствие сертификата на источник или информации о нем	154
11.3.4. Отсутствие сертификата на радиоактивные материалы особого вида	154
11.3.5. Несоответствие заводской транспортной упаковки	154
12. ЗАХОРОНЕНИЕ	156
12.1. Факторы, влияющие на выбор вариантов захоронения	156
12.1.1. Система классификации отходов МАГАТЭ.	157
12.1.2. Общее количество ИЗРИ, характеристики соответствующих радионуклидов и классы отходов.	158
12.1.3. Варианты захоронения ИЗРИ с учетом общего положения дел с радиоактивными отходами в стране	161
12.1.4. Кондиционирование ИЗРИ для захоронения — упаковка отходов	162
12.1.5. КПО для захоронения	163
12.2. Варианты захоронения	164
12.2.1. Приповерхностное захоронение	164
12.2.2. Геологическое захоронение.	166
12.2.3. Захоронение в шахтах и скважинах	167
12.3. Возникшие проблемы и извлеченные уроки.	170
12.3.1. Приповерхностное захоронение	170
12.3.2. Геологическое захоронение.	171
12.3.3. Скважинное захоронение	172
13. ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ	173
13.1. Принципы оценки безопасности	173
13.2. Процедура оценки безопасности	174
14. ВЫВОДЫ.	177
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	181
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	187
ПРИЛОЖЕНИЕ: РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗЪЯТЫМИ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ.	189
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ.	195
СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ	197

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Закрытые радиоактивные источники (ЗРИ) находят широкое применение в сельском хозяйстве, промышленности, медицине и в различных областях научных исследований как развитых, так и развивающихся стран. Практически все страны используют ЗРИ в тех или иных целях. Согласно оценкам, общее количество ЗРИ во всем мире исчисляется миллионами. Несмотря на то что многие источники имеют, как правило, малые физические размеры, они содержат очень высокие концентрации радионуклидов (активность промышленных и медицинских источников обычно находится в диапазоне от гигабеккерелей до петабеккерелей). Испускаемое этими источниками ионизирующее излучение является довольно интенсивным, поэтому для их безопасного использования, перевозки и хранения требуются контейнеры с мощным экранированием.

Радиоактивный источник, который больше не используется или который не планируется использовать в практической деятельности, в отношении которой было выдано соответствующее разрешение, называется «изъятый из употребления» [1]. Источник, ставший непригодным для использования по назначению в результате радиоактивного распада, считается «отработавшим». Важно подчеркнуть, что источник, заявленный одним пользователем как изъятый из употребления, все еще может использоваться другим пользователем, поставщиком или изготовителем. Изъятый из употребления или отработавший ЗРИ может по-прежнему иметь высокую радиоактивность и представлять потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды. Характер и масштабы различных проблем, связанных с изъятием из употребления ЗРИ, рассматриваются в [2].

Хотя о подавляющем большинстве используемых во всем мире радиоактивных источников можно сказать, что с ними обращаются безопасно и надежно и что они приносят большую пользу человечеству, иногда имеют место аварии, связанные с радиоактивными источниками [3–10]. При значительном количестве радиоактивного материала, как в случае радиотерапевтических источников или источников для промышленной радиографии, такие аварии приводят к тяжелым или даже фатальным последствиям [3, 5]. Большинство аварий были связаны с используемыми ЗРИ, которые все еще находились под регулирующим контролем, однако в ряде случаев, когда регулирующий контроль был слабым или отсутствовал вовсе, имели место аварии и с изъятими из употребления источниками. Некоторые из этих аварий привели к загрязнению больших площадей, что потребовало проведения дорогостоящих операций по очистке для ликвидации последствий таких аварий [3].

В целях снижения рисков, связанных с изъятием из употребления закрытыми радиоактивными источниками (ИЗРИ), важно иметь тщательно проработанную национальную стратегию, правовую базу и инфраструктуру для безопасного обращения с ними как на площадке пользователя, так и в масштабах всей страны. Крайне важно, чтобы источники, которые либо находятся в использовании, либо заявлены как изъятые из употребления, не представляли никакой потенциальной опасности для работников, населения в целом и окружающей среды. Предпочтительно, чтобы все требования, касающиеся безопасного обращения с ИЗРИ, были введены в действие и выполнены до начала какого-либо конкретного применения ЗРИ в государстве-члене.

Страны, в которых отсутствует комплексная инфраструктура для систем радиационной защиты и обращения с отходами, могут не в полной мере отдавать себе отчет о рисках, связанных с изъятием из употребления радиоактивными источниками. Даже некоторые развитые страны, широко использующие ЗРИ, могут недооценивать связанные с этим риски и, таким образом, не осуществлять достаточно эффективного контроля над своими радиоактивными источниками, несмотря на наличие надлежащего законодательства, мер радиационной защиты и системы обращения с отходами [9]. Другие страны не уделяют должного внимания программам обращения

с ИЗРИ, поскольку существуют более насущные проблемы, на которые направляются имеющиеся у них ресурсы. Даже если риски, связанные с использованием ЗРИ, и принимаются в расчет, существуют значительные потенциальные риски, связанные с изъятиями из употребления ЗРИ.

Количество изъятых из употребления радиоактивных источников в конкретном государстве-члене не влияет на последствия отдельно взятой аварии, но повышает вероятность возникновения аварии. На вероятность аварии влияют также степень регулирующего контроля и его эффективность. Последствия таких аварий определяются параметрами источника (конструкция источника, активность, химическая форма и т.д.), характером аварии, воздействием на людей, принятыми мерами противодействия и т.д.

В 1990-е годы в мире росла озабоченность по поводу радиоактивных источников, которые по тем или иным причинам находились вне регулирующего контроля или в отношении которых регулирующий контроль был недостаточным. В 1991 году была учреждена программа МАГАТЭ по ИЗРИ, имевшая конкретную цель — оказать помощь государствам-членам в их усилиях по предотвращению ситуаций, которые могут приводить к излишнему радиационному облучению или авариям. Эта программа предусматривает оказание государствам-членам технической помощи в форме выпуска технических докладов МАГАТЭ, подготовки специалистов, а также развития или совершенствования необходимой инфраструктуры путем предоставления инструментов, оборудования и передачи технологий и включает услуги МАГАТЭ по оценке, в рамках которых анализируется нормативно-правовая база государства-члена в области радиационной безопасности.

В 2011 году в Серии норм безопасности МАГАТЭ вышла публикация категории «Общие требования безопасности» № GSR Part 3 под названием «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности», промежуточное издание (далее ОНБ) [11]. Эта публикация заменяет собой «Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасности источников излучения», которые были выпущены в 1996 году [12]. С принятием Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (далее «Объединенная конвенция») был введен в действие юридически обязывающий международно-правовой документ по вопросам обращения с радиоактивными отходами [13]. В соответствии со статьей 28 Объединенной конвенции Договаривающиеся стороны обязаны принимать соответствующие меры для обеспечения безопасного владения изъятими из употребления закрытыми источниками, переработки или захоронения этих источников, при этом Договаривающиеся стороны разрешают возвращение на свою территорию ИЗРИ (если это допускается в рамках их национального законодательства). Кроме того, МАГАТЭ опубликовало Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников (далее «Кодекс поведения») [14]. Целями Кодекса поведения, достигаемыми посредством разработки, согласования и проведения в жизнь национальной политики, законов и регулирующих положений, а также путем содействия международному сотрудничеству, являются:

- достижение и поддержание высокого уровня безопасности и сохранности радиоактивных источников;
- предотвращение несанкционированного доступа к радиоактивным источникам или причинения им ущерба, их утери, хищения и несанкционированной передачи с целью снижения вероятности случайного вредного облучения такими источниками или злоумышленного применения таких источников для нанесения ущерба физическим лицам, обществу или окружающей среде;
- смягчение или сведение к минимуму радиологических последствий любой аварии или злоумышленных актов, связанных с радиоактивным источником.

МАГАТЭ продолжает изучать пути совершенствования своей программы обращения с радиоактивными отходами в целях оказания помощи различным государствам-членам. Одна из новых инициатив непосредственно касается вопросов обращения с ИЗРИ после окончания срока

службы, в том числе в тех случаях, когда изъятые из употребления источники рассматриваются в качестве радиоактивных отходов. До недавнего времени основное внимание уделялось проблеме безопасности радиоактивных источников, а сохранность источников рассматривалась как один из аспектов безопасности. Однако с учетом возможности использования радиоактивных источников для совершения злоумышленных действий проблема сохранности таких источников приобретает все большую актуальность. Обеспечить защиту от злоумышленного использования помогает новый подход, предусматривающий контроль над радиоактивными источниками в течение всего их жизненного цикла. Это означает, что соображениям физической безопасности должно придаваться первостепенное значение на протяжении всего жизненного цикла радиоактивных источников, включая такие этапы, как изготовление, сбыт, установка, ввод в эксплуатацию, использование, хранение и захоронение.

1.2. ЦЕЛЬ

Основная цель настоящего доклада — послужить справочным материалом и техническим руководством по безопасному обращению с ИЗРИ, охватывающим все аспекты, включая обращение, кондиционирование, перевозку, хранение и захоронение. Предполагается, что этот документ будет полезен и актуален для различных заинтересованных сторон, включая директивные органы, пользователей ЗРИ, операторов установок по обращению с отходами и регулирующих органов, особенно в тех государствах-членах, которые изучают возможные схемы или разрабатывают стратегии безопасного обращения с ИЗРИ. Он призван учесть потребности в области обращения с изъятыми из употребления источниками в различных государствах-членах — от стран с относительно хорошо развитой инфраструктурой и нормативно-правовой базой обращения с радиоактивными источниками до стран, которые находятся на самом раннем этапе концептуального планирования мер по обращению с изъятыми из употребления радиоактивными источниками.

1.3. СФЕРА ОХВАТА

В настоящей публикации представлена информация об обращении с ИЗРИ, которая основана на информации, обобщенной в серии более ранних технических публикаций МАГАТЭ, выпускавшихся в период с 1990 по 2003 год [2, 15–19]. Вместе с тем информация, содержащаяся в этих публикациях, была пересмотрена и дополнена данными о появившихся в последние годы новых способах обращения.

Настоящая публикация охватывает все типы ИЗРИ, за исключением освобожденных от регулирующего контроля, например циферблатов часов или измерительных приборов. В то же время в ней затрагивается тема дымовых пожарных извещателей и других низкоактивных источников, которые освобождены от регулирующего контроля в качестве отдельных источников излучения, но после поступления на пункт сбора могут представлять значительный риск и поэтому требуют безопасного обращения. В ней довольно подробно разбираются различные подходы, варианты и процедуры обращения с ИЗРИ, их кондиционирования, перевозки, хранения и захоронения, а также соответствующие требования к системе управления. В рамках каждого этапа обращения с отходами упоминаются некоторые имевшие место в прошлом проблемы и извлеченные уроки.

1.4. СТРУКТУРА

Настоящая публикация состоит из 14 разделов и одного приложения. Разделы 2–6 касаются общих вопросов обращения с ИЗРИ, а в разделах 7–12 последовательно разбираются основные этапы обращения с ИЗРИ. Данная последовательность представляет собой идеальный сценарий обращения с ИЗРИ, когда в наличии имеются все необходимые учреждения, объекты и персонал. Разумеется, в большинстве государств-членов такая ситуация встречается редко; однако такой подход позволяет проиллюстрировать идеальный сценарий обращения с ИЗРИ. В конце каждого раздела, посвященного тому или иному этапу обращения с ИЗРИ, рассматриваются некоторые примеры наряду с соответствующими извлеченными уроками.

В разделе 2 описаны основные радиологические, физические и химические характеристики закрытых радиоактивных источников, которые важно учитывать при выборе соответствующих вариантов обращения с этими источниками.

В разделе 3 представлена общая информация о современных международных подходах к категоризации и классификации ЗРИ.

В разделе 4 описываются устройства вместе с соответствующими источниками излучения, которые применяются в различных областях, исходя из той предпосылки, что важным фактором при разработке стратегии обращения с изъятыми из употребления источниками является хорошее понимание специфики применения источника и используемого оборудования.

В разделе 5 разбираются основные элементы национальной системы безопасного обращения с изъятыми из употребления радиоактивными источниками, включая правовые, нормативные и лицензионные аспекты, технические возможности и механизмы финансирования, а также описываются элементы современной системы управления, применяемой во всех видах деятельности. В этом разделе также излагаются основные причины и основания для отнесения ЗРИ к «изъятым из употребления» или «отработавшим».

В разделе 6 рассматривается подход к выбору стратегии обращения с изъятыми из употребления радиоактивными источниками и описываются различные основные варианты обращения с ними.

Раздел 7 посвящен вопросам характеризации закрытых радиоактивных источников с помощью различных неразрушающих и разрушающих методов, и в нем отмечается роль характеризации при выборе безопасного и надежного варианта обращения.

Раздел 8 охватывает процедуры, оборудование и инструменты, применяемые на различных этапах обращения с ИЗРИ.

Раздел 9 касается вопросов хранения изъятых из употребления некондиционированных источников на объектах пользователя, а также хранения кондиционированных ИЗРИ в центральных хранилищах; в нем делается особый акцент на конструктивные особенности упаковок отходов, принимаемых на хранение, и проектные требования к хранилищу и подчеркивается важность оценки безопасности таких объектов. В нем также приводится краткое изложение подходов к организации хранения высокоактивных источников, включая описание конкретных процессов.

В разделе 10 разбираются вопросы кондиционирования разных типов изъятых из употребления источников. Вначале в нем обобщаются требования к кондиционированию, включая аспекты проектирования соответствующих пунктов, их эксплуатации и ведения учета. Приводятся также рекомендации по выбору подходящей методологии кондиционирования, включая описание различных методов кондиционирования.

В разделе 11 рассматриваются вопросы перевозки изъятых из употребления радиоактивных источников, приводится информация о правилах перевозки МАГАТЭ и разбираются проблемы перевозки, свойственные высокоактивным источникам излучения. Обсуждаются также некоторые варианты перевозки.

Раздел 12 посвящен вариантам захоронения изъятых из употребления радиоактивных источников и содержит разбор конкретных характеристик радиоактивных источников, которые

создают проблемы в плане захоронения. В нем также описываются возникшие проблемы и извлеченные уроки и в качестве потенциально перспективного варианта рассматривается концепция скважинного захоронения.

В разделе 13 описывается роль оценок безопасности на протяжении всего жизненного цикла установки или деятельности, когда проектировщики, конструкторы, изготовители, эксплуатирующая организация или регулирующий орган должны принимать решения по тем или иным вариантам обращения и связанным с ними вопросам безопасности. В нем также кратко описывается процесс подготовки оценок безопасности.

В разделе 14 резюмируются достижения в области обращения с изъятыми из употребления радиоактивными источниками и обращается внимание на некоторые виды деятельности, которые имеют важное значение для решения проблемных вопросов.

В приложении рассматриваются радиологические риски, возникающие в связи с изъятыми из употребления источниками, в том числе в тех случаях, когда контроль над ними был недостаточным или был полностью утрачен. Кратко разбираются некоторые происшествия с изъятыми из употребления источниками.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРЫТЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Радиоактивный источник — это любой источник, способный испускать ионизирующее излучение. Источниками, рассматриваемыми в данной публикации, являются ЗРИ, содержащие в качестве основного источника ионизирующего излучения радиоактивные материалы (другими источниками могут быть рентгеновские аппараты, ядерные реакторы или ускорители частиц). Согласно Глоссарию МАГАТЭ по вопросам безопасности [1], закрытый источник представляет собой «радиоактивный материал, который окончательно запечатан в капсулу или тесно связан и находится в твердом состоянии». Капсула или материал закрытого источника достаточно долговечны и прочны для сохранения герметичности в условиях использования и износа, на которые рассчитан данный источник, а также при предполагаемых неполадках [10]. Во многих случаях используется капсула с двойной стенкой.

Радиоактивные источники используются в широком спектре областей в промышленности, медицине, сельском хозяйстве, научных исследованиях и образовании, а также для военных и оборонных нужд. Используемые в этих областях источники содержат самый разный радиоактивный материал по радионуклидному составу, форме и количеству и обладают широким спектром физических, химических и радиологических свойств.

После изъятия закрытого источника из употребления необходимо выбрать подходящий вариант последующего обращения с ним. Для выбора такого варианта важно располагать всей необходимой информацией о параметрах источника. В нижеследующих разделах кратко описываются параметры и особенности закрытых источников, которые имеют наиболее важное значение для выбора и реализации соответствующего варианта обращения.

К числу наиболее важных параметров относятся следующие:

- физическая форма: в основном твердая; жидкая или газообразная (в очень редких случаях);
- радиологические характеристики: радионуклид, тип излучения (α , β , γ , нейтронное), активность, период полураспада, энергия и коэффициенты дозового преобразования;
- нейтронное излучение (для источников нейтронов);
- химические характеристики: используемые соединения или сплавы, растворимость и т.д.;
- конструктивное исполнение (включая размеры радиоактивного наполнителя и капсулы);
- физическое состояние: неповрежденный, поврежденный или разгерметизированный;
- другие характеристики, связанные с конкретным способом применения источника (коррозионная стойкость, термические свойства, стабильность и т.д.).

Особенно важное значение для выбора варианта утилизации изъятых из употребления источников имеют период полураспада и активность содержащегося в источнике радионуклида.

2.1. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1.1. Физическая форма

По своим физическим свойствам радиоактивный материал в ЗРИ может классифицироваться следующим образом:

- твердый: в основном металлический, керамический, иногда прессованный порошок и в редких случаях — растворимые соли;
- газообразный: в основном ^{85}Kr и ^3H ;

— жидкий: используется редко.

В случае разгерметизации капсулы, в которой содержится материал в порошкообразной или растворимой форме, может возникнуть радиоактивное загрязнение.

2.1.2. Вид излучения

Как правило, радионуклиды могут одновременно испускать несколько видов излучения. Испускание альфа- и бета-частиц во многих случаях сопровождается гамма-излучением. Даже в случае чистых бета-излучателей необходимо принимать во внимание наличие тормозного излучения¹.

Для радионуклидов, продукты распада которых также радиоактивны, необходимо учитывать аналогичные характеристики продуктов распада. Для целей настоящей публикации важны также химическая форма и структура основного вещества, содержащего радионуклид (например, хлорида цезия в виде гранулированной соли).

2.1.3. Физические и химические характеристики радионуклидов

Ниже подробно рассматриваются основные характеристики некоторых отдельных радионуклидов, используемых в закрытых источниках.

Радий

Радий-226 входит в цепочку радиоактивного распада ^{238}U ; он имеет очень большой период полураспада (1600 лет) и является сильным альфа-излучателем с низкой энергией гамма-излучения. В результате альфа-распада радия-226 образуется ^{222}Rn — инертный газ с периодом полураспада 3,6 суток. До того, как цепочка радиоактивного распада завершится образованием стабильного изотопа ^{206}Pb , образуются восемь дочерних продуктов, четыре из которых являются альфа-излучателями. Таким образом, каждый распадающийся атом ^{226}Ra порождает пять альфа-частиц. Во время распада также испускается много высокоэнергетических и низкоэнергетических гамма-квантов и бета-частиц. В радиевом источнике, помимо родительского изотопа ^{226}Ra , всегда присутствуют дочерние продукты. Поэтому он имеет достаточно высокую гамма-постоянную [11].

Проблематичными с точки зрения обращения являются старые радиевые источники медицинского назначения, поскольку они часто подвержены протечкам из-за избыточного внутреннего давления, создаваемого в результате распада ^{226}Ra , при котором образуются газообразные радон и гелий. Малые размеры источников не позволяют наносить маркировку, и это придает ЗРИ обманчиво безвредный вид небольшого, гладкого металлического предмета. Ввиду высокой кажущейся ценности этих небольших источников, часто заключенных в платиновую капсулу, повышается риск хищения.

Радий — это щелочноземельный металл. Он является весьма реакционно-способным и вступает в реакцию даже с азотом. Поэтому в радиоактивных источниках радий всегда используется в форме солей — бромидов, хлоридов, сульфатов или карбонатов. Все они растворимы в воде в количествах, которые могут являться источником радиологической опасности. В организме радий ведет себя как кальций, то есть он накапливается в костной ткани. По всем этим причинам радий больше не считается оптимальным радионуклидом для использования в закрытых источниках.

¹ Тормозное излучение — излучение, испускаемое при замедлении легких заряженных частиц, например рентгеновские лучи, которые возникают при торможении разогнанных в ускорителе электронов металлической мишенью.

Кобальт

Кобальт представляет собой металлический элемент, имеющий только один стабильный изотоп — ^{59}Co . Когда в ядерный реактор помещаются слитки природного кобальта, в результате поглощения ядрами тепловых нейтронов образуется ^{60}Co — радионуклид с периодом полураспада 5,27 лет. Кобальт-60 претерпевает бета-распад (испускает электрон и нейтрино) и с каждым распадом испускает два гамма-кванта: один с энергией 1,173 МэВ и другой — 1,333 МэВ и, наконец, распадается до стабильного изотопа ^{60}Ni . Источники на основе кобальта-60 производятся как источники с высокой удельной активностью для дистанционной лучевой терапии и промышленной рентгенографии и промышленные источники для облучательных установок и других применений. Источники с высокой удельной активностью представляют собой небольшие металлические гранулы (как правило, цилиндрической формы диаметром и высотой 1 мм), производимые в специальных ядерных реакторах с большой плотностью нейтронного потока.

В ЗРИ обычно используется металлический кобальт, так как в этом случае можно добиться максимальной удельной активности источника. Как правило, ^{60}Co выпускается в виде тонких дисков или небольших цилиндрических гранул или слитков, запаянных в капсулы из нержавеющей стали. Металлический кобальт не растворяется в воде и стабилен в воздухе, но на его поверхности образуется тонкий оксидный слой, что при обращении с незащищенным кобальтом может приводить к загрязнению. По этой причине перед активацией кобальта, используемого в радиоактивных источниках, производится его никелирование [20].

Цезий

Цезий-137 получают делением ядер урана с последующим химическим отделением цезия от облученного ядерного топлива или мишеней. Цезий остается в потоке отходов большинства предприятий, которые химически перерабатывают (регенерируют) отработавшее ядерное топливо для извлечения урана и плутония. Цезий фактически представлен четырьмя изотопами: ^{133}Cs (стабильный), ^{134}Cs (период полураспада 2 года), ^{135}Cs (период полураспада 2,3 млн лет) и ^{137}Cs (период полураспада 30 лет). Цезий-137 обычно рассматривается как гамма-излучатель со средней энергией частиц, хотя нуклид $^{137}\text{Ba}^m$, образующийся из ^{137}Cs в процессе бета-распада, излучает гамма-кванты с энергией 662 кэВ.

Как и калий и натрий, цезий — это элемент группы щелочных металлов, обладающий высокой реакционной способностью. Из-за высокой реакционной способности он может использоваться в ЗРИ только в виде химического соединения. Как правило, ^{137}Cs поставляется в виде хлорида цезия — кристаллической соли (химически и структурно родственной поваренной соли, т.е. хлориду натрия), которая может выпускаться с разным размером частиц, от кристаллов сантиметрового размера до порошка, который и используется для производства радиоактивных источников на основе хлорида цезия. Методом холодного прессования формируется гранула внутри емкости из нержавеющей стали в форме наперстка, после чего емкость помещают в защитную капсулу из нержавеющей стали, которая запаивается, образуя внутреннюю защитную оболочку; затем поверх нее наплавляется вторая оболочка из нержавеющей стали и тем самым изготавливается собственно герметичный радиоактивный источник, содержащий хлорид цезия. Изготовление радиоактивных источников на основе хлорида цезия осуществляется при температуре около 200°C, поскольку хлорид цезия гигроскопичен.

Хлорид цезия растворим в воде при комнатной температуре, поэтому, если он был намеренно или случайно извлечен из контейнера, он легко рассеивается. В случае образования течей в контейнере из нержавеющей стали хлорид цезия может раствориться в воде и загрязнить окружающую среду. Он обладает высокой реакционной способностью при попадании в окружающую среду, взаимодействует с поверхностями и даже проникает в бетон. Попадая в организм, он распространяется по всем тканям, куда поступает вода, в результате чего формируется доза облучения на все тело.

Один из подходов к решению проблем, связанных с очень высокой растворимостью хлорида цезия в воде, заключается в применении в качестве непосредственной замены порошка хлорида цезия других соединений, содержащих ^{137}Cs . Подходящим способом является его испарение и термическое остекловывание в процессе фиксации в матрице из оксида алюминия, в результате чего получают спеченные таблетки поллуцита (алюмосиликат цезия $\text{Cs}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$) или керамические гранулы и стержни. Эти формы делают данный радионуклид практически нерастворимым в воде, но при этом происходит резкое снижение его удельной активности.

Альтернативным подходом к снижению растворимости и диспергируемости является иммобилизация ^{137}Cs в цементной матрице путем добавления цементной пасты и наполнителей. Преимуществом такого подхода является возможность обработки при низкой температуре и, при разумном выборе цементной фазы, низкая растворимость в воде. Однако в результате разбавления, которое происходит при получении цементной матрицы, ограничивается достижимый уровень удельной активности. Кроме того, продукт остается в виде хрупкого твердого вещества, которое под воздействием радиации может разлагаться, поэтому этот подход не снижает потенциальную диспергируемость цезия в случае взрыва. Подход с использованием цементной матрицы имеет свои преимущества при необходимости иммобилизации отходов, содержащих ^{137}Cs , в крупных масштабах.

Стронций

Стронций — это химически активный металл, который в источниках обычно встречается в форме хлорида, нитрата, оксида или титаната. Он имеет четыре стабильных изотопа: стронций-84, -86, -87 и -88, причем наиболее распространенным в природе (82,6%) является последний из них. Радионуклид ^{90}Sr представляет собой продукт деления, образующийся в 5,8% реакций деления ^{235}U тепловыми нейтронами и 2% реакций деления ^{239}Pu тепловыми нейтронами. Стронций-90 имеет период *полураспада* 28,78 лет и в результате бета-распада (0,546 МэВ) превращается в ^{90}Y , а тот, в свою очередь, претерпевает бета-распад с довольно высоким выделением энергии (2,28 МэВ) и периодом полураспада 2,67 суток.

Как правило, ^{90}Sr используется как титанат в форме керамического материала. Для одних медицинских применений соединение стронция наносится на серебряную подложку и герметизируется слоем серебра толщиной 0,1 мм с палладиевым покрытием. Для других применений соединение стронция может быть заключено в керамику, стеклянную гранулу или упаковано в серебряную фольгу.

Стронций-90 нарабатывается в ядерных энергетических реакторах или в реакторах для производства изотопов. Стронций-90 не испускает проникающее гамма-излучение, так что в случае загрязнения опасность представляет только внешнее облучение при попадании его на кожу. Основные причины для беспокойства связаны с возможностью внутреннего облучения стронцием, учитывая испускание им высокоэнергетических бета-частиц и тот факт, что он относится к той же химической группе, что и кальций, поэтому попавший в организм человека стронций накапливается в костях, где он присутствует, по существу, постоянно, и не выводится в процессе естественных отправлений организма. В то же время в результате замедления высокоэнергетических электронов, испускаемых при распаде ядер, высокоактивные источники ^{90}Sr создают значительное тормозное излучение. Оно может даже стать причиной возникновения детерминированных эффектов для здоровья, если речь идет об источнике очень высокой активности (подобный инцидент с радиоизотопным термоэлектрическим генератором (РИТЭГ) имел место в 2002 году в Грузии).

Иридий

Иридий, один из двух самых плотных металлов (22,42 г/см³, как и осмий), очень тверд и хрупок и с трудом поддается обработке. Он также с большим трудом вступает в химические реакции и имеет высокую температуру плавления (более 2400°C) [20]. Природный иридий, который

встречается в платиновых и никелевых рудах, представляет собой смесь двух изотопов — 37% ^{191}Ir и 63% ^{193}Ir . В гамма-радиографии (например, при неразрушающем контроле труб) и в брахитерапии находят применение источники ионизирующего излучения на основе иридия-192.

Иридий-192 для таких источников нарабатывается путем облучения природного иридия в ядерном реакторе. При захвате ядром иридия-191 нейтрона образуется ^{192}Ir , который имеет период полураспада 73,83 суток и 95-процентную вероятность перехода в результате бета-распада в ^{192}Pt с испусканием гамма-квантов и 5-процентную вероятность распада в результате захвата электрона с образованием ^{192}Os . В процессе распада до ^{192}Pt в среднем испускается 2,33 гамма-кванта с энергиями в диапазоне от 135 кэВ до 1,378 МэВ и средним значением 380 кэВ.

Для изготовления источников излучения обычно используется иридий в виде отрезков проволоки или набора дисков из тонкой фольги, а не в виде гранул, слитков или порошка. И использованные источники ^{192}Ir , как правило, могут быть отправлены обратно производителю или поставщику либо помещены на хранение с целью распада радиоизотопов, учитывая их относительно короткий период полураспада. Таким образом, несмотря на то что утилизация ^{192}Ir не составляет проблемы, ввиду короткого периода полураспада пользователи вынуждены часто производить замену источников, а это подразумевает, что в любой момент времени в процессе перевозки и хранения находится множество источников.

Америций

Америций — это актинид, или трансурановый элемент, не имеющий стабильных изотопов. Как и другие актиниды, америций достаточно легко окисляется. Америций получают следующим образом: ^{238}U , продукты его активации и распада в процессе последовательного захвата нейтронов образуют ^{241}Pu , который имеет период полураспада 14,4 года и превращается в ^{241}Am . Америций извлекают из старых запасов плутония, в котором он накапливается в процессе радиоактивного распада. Америций-241 распадается с периодом полураспада 432,7 года и испусканием альфа-частицы. Эта альфа-частица имеет среднюю энергию 5,465 МэВ и в 43% случаев распада сопровождается рентгеновским излучением с энергией 13,9 кэВ, в 36% случаев — рентгеновским излучением с энергией 59,5 кэВ, в остальных случаях рентгеновского излучения не наблюдается. Продукт распада — ^{237}Np — также является радиоактивным и имеет период полураспада 2 млн лет. Америций-241 используется как в качестве источника альфа-излучения, так и — в комбинации с бериллием — в качестве источника нейтронов (так называемый америций-бериллиевый или Am-Be источник). В Am-Be источнике некоторые альфа-частицы, выделяющиеся при распаде америция, поглощаются бериллием, который затем испускает нейтрон с энергией в диапазоне от 0 до порядка 11 МэВ и средним значением около 6 МэВ. Am-Be источник испускает примерно 1 нейтрон на каждые 20 000 альфа-распадов.

«Рекомендуемый срок службы» Am-Be источников составляет 15 лет, после чего производители источников рекомендуют повторно сертифицировать их (если они находятся в хорошем состоянии), повторно герметизировать (если капсула имеет легкие повреждения, но ее конструкция еще не устарела) или переработать (если конструкция устарела или капсула имеет серьезные повреждения, материал Am-Be можно извлечь и использовать при изготовлении нового источника).

По своим химическим характеристикам америций аналогичен редкоземельным металлам. Как правило, ^{241}Am используется в закрытых источниках в форме оксида. Для изготовления источников нейтронов мелкодисперсный порошок оксида америция смешивается с порошком бериллия и спекается до получения керамического продукта, который стабилен на воздухе и в составе которого америций труднорастворим в воде. Для использования в качестве низкоэнергетического источника гамма-излучения в капсуле из нержавеющей стали предусматривается «окно», где оболочка имеет малую толщину, что позволяет источнику испускать гамма-фотоны без чрезмерного затухания [20].

Для использования в дымовых пожарных извещателях и молниеотводах источник может быть герметично упакован в единую оболочку (металлическая фольга) или нанесен на керамическую подложку и остеклован.

Калифорний

Калифорний — это актинид, не имеющий стабильных изотопов. Он образуется в результате последовательного захвата нейтронов мишенями, содержащими актиниды. Калифорний-252 имеет период полураспада 2,645 года и распадается путем спонтанного деления в 3,1% случаев и путем альфа-распада в 96,9% случаев. В результате делений ядра высвобождаются нейтроны; таким образом, ^{252}Cf является очень интенсивным источником нейтронов ($2,3 \times 10^{12}$ нейтронов в секунду на грамм). Учитывая, что для превращения в ядро ^{252}Cf ядро ^{238}U должно поглотить 14 нейтронов, не подвергаясь при этом другим реакциям, которые уменьшают количество нуклонов, калифорний вырабатывается в очень небольших количествах.

Селен

Селен является летучим, реакционно-способным и коррозионно-активным элементом, который химически напоминает серу и образует чрезвычайно токсичные соединения. Он имеет умеренную плотность (от $4,3 \text{ г/см}^3$ до $4,8 \text{ г/см}^3$) и плавится при температуре 217°C . Селен имеет несколько природных изотопов: ^{74}Se (0,89%), ^{76}Se (9,36%), ^{77}Se (7,63%), ^{78}Se (23,78%), ^{80}Se (49,61%) и ^{82}Se (8,73%). Селен-75 распадается путем захвата электронов с периодом полураспада 119,8 суток до стабильного изотопа ^{75}As , испуская в среднем 1,75 гамма-кванта со средней энергией каждого в 215 кэВ и пиковой энергией в 800 кэВ. Используется в радиографическом контроле тонкостенных конструкций. Селен-75 получают путем облучения природного изотопа ^{74}Se в ядерном реакторе. Селен легко окисляется; диоксид селена хорошо растворяется в воде. Химическая токсичность селена очень высока. Он имеет средний уровень радиотоксичности.

Радиоактивный ^{75}Se в виде порошка прессуется в гранулы и помещается во сварную внутреннюю капсулу из титана (или титанового сплава). Титановая капсула помещается внутрь сварной наружной капсулы из нержавеющей стали.

Иод

Иод-125 обычно получают в результате облучения альфа-частицами сурьмы на основе реакции $^{123}\text{S} (\alpha, 2n) ^{125}\text{I}$. Имеет короткий период полураспада 60 суток. Иод распадается путем захвата электронов с испусканием низкоэнергетического рентгеновского излучения с энергией фотонов 27 и 35 кэВ.

Используемые для брахитерапии источники на основе иода обычно представляют собой ^{125}I , осажденный на серебряный стержень или гранулированную ионообменную смолу и запаянный в тонкую титановую капсулу. Источники, используемые в промышленных целях, обычно изготавливаются в форме активной гранулированной смолы, заключенной в капсулу из нержавеющей стали с «окном» из тонкого слоя титана.

Поскольку источник выполнен из радиоактивного материала, осажденного на подложку, в случае повреждения капсулы некоторая часть радиоактивного йода может перейти в летучую форму.

Плутоний

Плутоний — это актинид, или трансурановый элемент, не имеющий стабильных изотопов. Это серебристо-белый химически активный металл, который легко окисляется, приобретая тусклый, более темный оттенок. Он труднорастворим в чистой воде, но энергично реагирует

с соленой водой и галогенидами. Плутоний-238 образуется в результате поглощения нейтронов ядром ^{237}Np , который сам образуется при облучении урана в реакторе с последующим отделением химическими способами. Период полураспада плутония-238 составляет 87,7 лет, он распадается путем альфа-распада с высвобождением частиц со средней энергией 5,486 МэВ. Продукт его распада — ^{234}U — представляет собой природный радионуклид. Количество тепла, выделяющегося в процессе распада относительно чистого ^{238}Pu , таково, что сплошной шар из этого материала размером с мяч для гольфа будет под воздействием теплового излучения раскаляться докрасна, если его специально не охлаждать.

В таблице 1 [19] обобщены основные радиологические характеристики отдельных радионуклидов, испускающих альфа/бета/гамма-излучение.

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТДЕЛЬНЫХ АЛЬФА/БЕТА/ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ, ЧАСТО ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ЗРИ [19]

Характеристики	^{60}Co	^{137}Cs	^{192}Ir	^{226}Ra	^{241}Am	^{90}Sr (^{90}Y)	^{75}Se	^{125}I
Период полураспада	5,27 года	30 лет	74 суток	1600 лет	433 года	29 лет	120 суток	60 суток
Энергия альфа-излучения (МэВ)	—	—	—	7,7	5,86	—	—	—
Максимальная энергия бета-излучения (МэВ)	0,31	1,2	0,67	2,8	—	0,55 (2,3)	—	—
Энергия гамма-излучения (МэВ)	1,17 1,33	0,66	0,32 0,47	до 2,4	0,06	—	среднего уровня	0,03
Гамма-постоянная (мкЗв/ч × ГБк на расст. 1 м)	360	86	140	220	4	3,5 (торм. изл.)	39	39

Источники нейтронов

Источники нейтронов содержат в основном альфа-излучающие радионуклиды (^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{226}Ra), которые индуцируют (α , n) реакции с легкими элементами, такими как бериллий, бор, литий или фтор. Ядро бериллия или бора поглощает альфа-частицу и испускает нейтрон с энергией в диапазоне от 0 до порядка 11 МэВ и средним значением около 4 МэВ. Чаще всего в качестве радионуклидных источников нейтронов используются Am–Be источники, хотя в прошлом в некоторых случаях использовались плутоний-бериллиевые (Pu–Be) источники. Am–Be источники, используемые, в частности, для гамма-каротажа нефтяных скважин, обычно изготавливаются путем холодного прессования смеси из порошков оксида америция (AmO_2) и бериллия для формирования гранул, которые затем либо диффузионно связываются с металлической пластиной (для небольших источников), либо запаиваются в сварной контейнер из нержавеющей стали.

В качестве замены Am–Be источникам обосновывается возможность использования источников нейтронов спонтанного деления на основе ^{252}Cf . Для индуцирования излучения быстрых нейтронов используется плутоний-238, в то время как широкое применение для других целей находит ^{241}Am . В источниках нейтронов используется также радий-226, однако он создает проблемы из-за сопутствующего гамма-излучения.

Радиологические характеристики важнейших источников нейтронов представлены в таблице 2 [17].

ТАБЛИЦА 2. ВАЖНЕЙШИЕ ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ [17]

Источник	Ядерная реакция	Период полураспада	Выход нейтронов 1/(ТБк/с)	Средняя энергия (МэВ)
$^{226}\text{Ra}-\text{Be}$	$^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$	1602 года	$4,6 \times 10^8$	5
$^{239}\text{Pu}-\text{Be}$	$^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$	$2,44 \times 10^4$ лет	$4,8 \times 10^7$	4
$^{241}\text{Am}-\text{Be}$	$^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$	458 лет	$5,7 \times 10^7$	4
^{252}Cf	спонтанное деление	2,64 года	$1,2 \times 10^{11}$	1

2.2. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ

В зависимости от области применения и уровня активности ЗРИ могут иметь самую разную форму, геометрию и размеры. С точки зрения выбора подходящих методов кондиционирования, перевозки, хранения и захоронения изъятых из употребления источников важное значение имеют их геометрические параметры.

2.2.1. Источники гамма-излучения

Активная часть радиоактивного источника может иметь разную форму. Активные части источников бета/гамма-излучения могут быть выполнены в форме цилиндров, дисков, гранул, пластин и проволоки. Радиоактивный материал в источниках гамма-излучения обычно находится в твердой, труднорастворимой форме. Одним из исключений является хлорид ^{137}Cs , используемый в высокоактивных источниках, который имеет хорошую растворимость. Как правило, для герметизации источников гамма-излучения используется нержавеющая сталь либо, реже, алюминий и титан. Защитная оболочка закрытого радиоактивного источника может состоять из одной или нескольких капсул (см. рис. 1). Большинство высокоэнергетических источников заключается в двойную капсулу; низкоэнергетические источники помещаются в прочную металлическую капсулу с «окном» из тонкого слоя металла. В низкоэнергетических источниках гамма-излучения радиоактивный материал наносится тонким слоем на поверхность пластины (см. рис. 2).

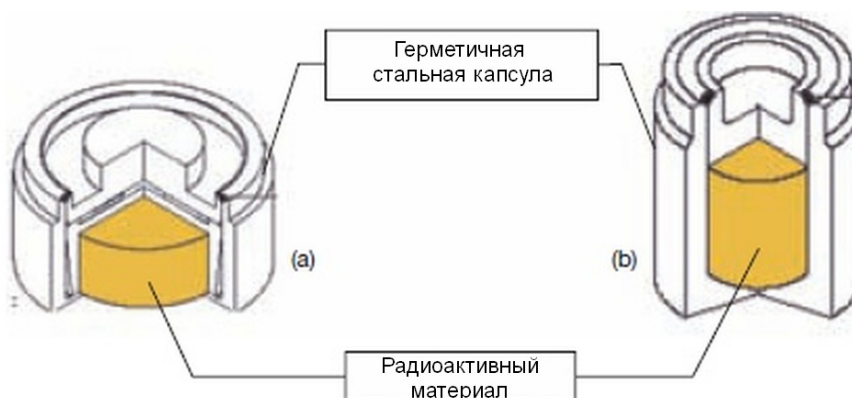


РИС. 1. Примеры источников с одинарной и двойной капсулой: а) типичный дисковый источник на основе ^{241}Am и б) типичный цилиндрический источник на основе ^{137}Cs .

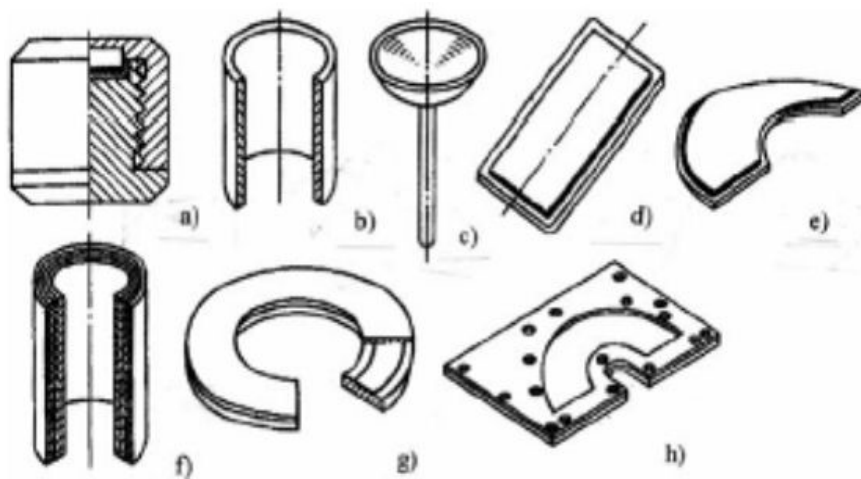


РИС. 2. Поверхностные источники излучения: а) бета-источники на основе $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$, $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$; б) альфа-источник на основе Pu ; в) бета-источник на основе $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$; д) альфа-источник на основе Pu ; е) бета-источник на основе ^{147}Pm ; ф) бета-источник на основе $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$; г) источник рентгеновского излучения на основе ^{55}Fe ; h) бета-источники на основе $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$.

2.2.2. Источники альфа-излучения

Как правило, источники альфа-излучения содержат керамическую или металлическую подложку, на которую нанесены радионуклиды, такие как ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{210}Po , ^{237}Np или ^{226}Ra . Размеры этих источников могут существенно варьироваться. На рис. 3 показан типичный источник на основе ^{241}Am , выполненный в виде тонкой пластины из радиоактивного материала.

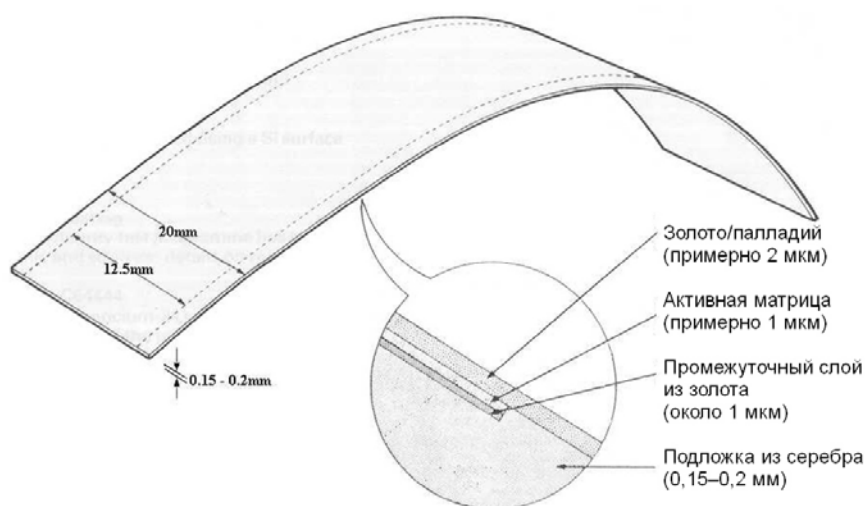


РИС. 3. Типичный радиоактивный источник альфа-излучения на основе ^{241}Am , выполненный в виде пластины.

Некоторые закрытые источники альфа-излучения содержат радиоактивный материал в виде порошка или жидкости, которые помещены внутрь стеклянных или пластиковых флаконов или ампул. При обращении с такими источниками, их перевозке, кондиционировании и хранении

требуются особые меры предосторожности. Ранее применявшиеся источники на основе жидкого радия помещались в стеклянные флаконы (рис. 4), но от этой практики отказались много лет назад. Тем не менее источники такого типа все еще встречаются.



РИС. 4. Источники на основе жидкого ^{226}Ra в стеклянных флаконах.

2.2.3. Источники бета-излучения

Конструкция источников бета-излучения представляет собой прочную металлическую капсулу с «окном» из тонкого слоя металла или поверхность нерадиоактивной подложки, на которую нанесен активный материал, часто покрытый сверху еще одним очень тонким слоем нерадиоактивного материала.

Источники на основе никеля-63 изготавливают на подложке из металлической трубки или проволоки, на которую электрохимическим способом нанесен слой радиоактивного материала. Длина таких источников, как правило, не превышает 40 мм.

Источники на основе углерода-14 состоят из полимерных (полиметилметакрилатных, ПММА) пленок, наклеенных на алюминиевую фольгу. Обычно эти пленки имеют размеры не более 70 мм в длину и 1 мм в толщину.

Источники на основе стронция-90 обычно изготавливаются из керамической матрицы, помещаемой в стальную капсулу. В то же время аппликаторы для глаз с содержанием ^{90}Sr основаны на технологии серебряной фольги.

В случае источников на основе ^{85}Kr радиоактивное содержимое представляет собой инертный газ.

2.2.4. Источники нейтронов

Почти все источники нейтронов содержат альфа-излучающий радионуклид, смешанный с бериллием или другим легким металлом в порошковой форме, который прессуется и заключается в двойную оболочку из нержавеющей стали. Длина источников варьируется в пределах от 3 до 40 мм.

2.3. РАЗМЕРЫ

Некоторые примеры типичных размеров ЗРИ приведены в таблице 3 [21].

ТАБЛИЦА 3. ТИПИЧНЫЕ РАЗМЕРЫ НЕКОТОРЫХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ [21]

Закрытые источники	Категория	Размеры
Источник Со-60 для дистанционной лучевой терапии	1	цилиндр диаметром 20 мм и длиной 30 мм
Источник Со-60 для гамма-стерилизации	1	цилиндр диаметром 11 мм и длиной 450 мм
Источник Sr-90, используемый в РИТЭГ	1	диаметром до 100 мм и длиной 200 мм
Источники для промышленной гамма-радиографии	2	диаметром до 7 мм и длиной 15 мм; гибкий переходник длиной до 200 мм
Источник с высокой мощностью дозы (ВМД) для брахитерапии методом афтерлодинга	2	<i>Современные источники:</i> диаметром до 3 мм и длиной 15 мм; гибкий переходник длиной до 300 мм <i>Старые источники:</i> сферический: диаметром около 3 мм; активное вещество: Cs-137
Высокоэнергетические гамма-источники для контроля промышленных изделий	3 или 4	Обычно цилиндрические капсулы: диаметром 3–12 мм и длиной 5–15 мм
Источники нейтронов для контроля промышленных изделий	3 или 4	диаметром 3 или 4–6 мм и длиной 12 мм или диаметром 8–20 мм и длиной 12–30 мм
Источники гамма-излучения и нейтронов для каротажа нефтяных скважин	2 или 3	<i>Гамма-источники:</i> диаметром 8–20 мм и длиной 15–40 мм <i>Нейтронные источники:</i> диаметром 15–25 мм и длиной 25–60 мм
Низкоэнергетические стационарные источники для контроля промышленных изделий	4	диаметром 10–50 мм и высотой 7–15 мм
Имплантируемые источники для долговременной имплантации и брахитерапии с низкой мощностью дозы (НМД)	5	диаметром менее 1 мм и длиной менее 5 мм
Глазные аппликаторы	5	диаметром менее 1 мм и длиной менее 5 мм
Низкоэнергетические гамма-источники для активационного анализа	5	диаметром 3–15 мм и высотой 7–10 мм
Калибровочные и эталонные источники	5	разных размеров и форм

В некоторых специализированных областях используются источники очень большого размера, например, нейтрализаторы статического электричества длиной более 1 м. Геометрическая конфигурация некоторых из этих устройств достаточно сложна в том смысле, что материал радиоактивного источника распределен по поверхности конструкции.

2.4. ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Некоторые ЗРИ могут терять герметичность и поэтому должны испытываться через регулярные промежутки времени, установленные по рекомендациям изготовителя и/или по требованию национального регулирующего органа. Такие испытания должны проводиться персоналом, имеющим надлежащую подготовку. Руководство по методам испытания на герметичность содержится в соответствующем международном стандарте ИСО [22], который приводится в списке использованных источников.

Разгерметизированные источники считаются изъятыми из употребления и в целях безопасного обращения с ними немедленно выводятся из эксплуатации. Например, могут терять герметичность старые источники на основе радия, заключенного в платиновые или стеклянные ампулы. Типичной проблемой безопасности является повышение внутреннего давления в результате накопления продуктов распада ^{226}Ra . Разгерметизированным или поврежденным источникам должно уделяться особое внимание при кондиционировании и хранении.

3. КАТЕГОРИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Категоризация (классификация) — это подход, используемый преимущественно в случаях, когда число рассматриваемых элементов (объектов или идей) велико, чтобы облегчить работу с этими элементами за счет сокращения их числа. Категоризация осуществляется путем выбора основных характеристик (критериев) и выстраивания их в систему. ЗРИ используются в разнообразных целях и содержат широкий спектр радионуклидов и радиоактивных материалов разного объема. В данном случае основу категоризации составляют главным образом характеристики излучения и представляемый источником риск для человека и окружающей среды. Некоторые риски, связанные с радиоактивными источниками, кратко описаны в приложении.

3.1. ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ КАТЕГОРИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Категоризация (классификация) радиоактивных источников может быть полезна на любом этапе жизненного цикла радиоактивного источника — от этапа его первоначального производства и эксплуатации до окончательной утилизации. Система категоризации источников необходима также для ранжирования и группировки источников и их применений с учетом рисков, что, в свою очередь, имеет непосредственное отношение к перечисленным ниже аспектам.

- *Меры регулирования.* Обеспечение логичной и прозрачной основы для системы уведомления, регистрации, лицензирования и инспекций с учетом рисков. Кроме того, благодаря категоризации можно гарантировать, что выделенные людские и финансовые ресурсы будут соразмерны рискам, связанным с эксплуатацией источника.
- *Меры безопасности.* Обеспечение учета рисков при определении мер безопасности, которые должны применяться в течение жизненного цикла закрытого источника (от эксплуатации до утилизации как изъятого из употребления). Оценка потенциальных опасностей, связанных с различными типами источников.
- *Возможные схемы обращения.* Помощь в планировании и проектировании установок для кондиционирования и хранения, а также в принятии решения о возможном способе утилизации источника.
- *Меры физической безопасности.* Обеспечение учета рисков при определении мер физической безопасности с признанием важности других факторов (например, угроз в отношении конкретных установок/источников).
- *Национальный реестр источников.* Оптимизация решений о категориях источников и степени детальности информации, включаемой в национальные доклады.
- *Контроль импорта/экспорта.* Оптимизация решений об источниках, которые могут подлежать контролю при импорте и экспорте.
- *Маркировка источников.* Оптимизация решений об источниках, которые могут помечаться соответствующей маркировкой (в дополнение к знаку в виде трилистника) для предупреждения людей о радиационной опасности.
- *Аварийная готовность и реагирование.* Обеспечение того, чтобы планы аварийной готовности и реагирования на аварии были соразмерны категории источника.
- *Определение очередности усилий по восстановлению контроля над бесхозными источниками.* Оптимизация решений, касающихся того, на чем необходимо сосредоточить усилия для восстановления контроля над бесхозными источниками.
- *Информационная работа с населением.* Обоснование разъяснений, касающихся относительной опасности событий, связанных с радиоактивными источниками.

Цель категоризации радиоактивных источников заключается в создании фундаментальной и согласованной на международном уровне основы для принятия решений с учетом рисков. Международными организациями были разработаны разнообразные системы категоризации источников, но они создавались для нужд разных директивных органов. Ниже описаны три основные международные системы категоризации, разработанные для обоснования стратегий обращения с изъятymi из употребления радиоактивными источниками. Кроме того, для государств-членов, рассматривающих различные варианты утилизации, в разделе 12 описана система классификации отходов МАГАТЭ.

Государства-члены, не имеющие собственной системы классификации (категоризации) источников, могут разработать ее на основе соответствующих международных руководящих указаний или использовать существующие международные системы категоризации источников для удовлетворения конкретных национальных потребностей.

3.2. СИСТЕМА КАТЕГОРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ МАГАТЭ

Признавая необходимость риск-ориентированного подхода к регулирующему контролю радиоактивных источников, МАГАТЭ приводит в ОНБ [11] и в руководстве по безопасности RS-G.1.9 [23] схему категоризации радиоактивных источников и видов практической деятельности, основанную на техническом документе МАГАТЭ IAEA-TECDOC-1344 [24].

В таблице 2 приложения I к [23] приведены примеры широкого спектра радионуклидов и уровней активности радиоактивных источников, используемых по всему миру в различных полезных целях. Поскольку считается, что первостепенное значение имеет здоровье человека, система категоризации основана главным образом на способности радиоактивных источников вызывать детерминированные эффекты для здоровья, и при этом учитываются как физические свойства, так и конкретный способ применения источника. Поэтому в основу системы категоризации положена концепция «опасных источников», имеющих количественное выражение в виде «*D*-величин»². *D*-величина — это удельная активность радионуклида в источнике, который в отсутствие контроля может вызвать серьезные детерминированные эффекты по ряду сценариев, включая как внешнее облучение от незранированного источника, так и внутреннее облучение в результате рассеяния материала источника (см. [24], приложение II). Для каждого вида практической деятельности и используемого в нем радионуклида активность источника в ТБк делится на удельное значение *D* соответствующего радионуклида в ТБк, в результате чего получается безразмерное нормализованное значение соотношения *A/D*.

Окончательная категоризация конкретных применений источников приведена в таблице 4 ([23], таблица 1), а сравнение категорий, основанных исключительно на соотношении *A/D*, с категориями, соответствующими видам практической деятельности, — в приложении I к [23]. При обращении с закрытыми источниками самый высокий риск представляют источники категории 1, а самый низкий — категории 5.

² Изначально *D*-величины были рассчитаны в контексте аварийной готовности [38] для определения контрольной точки, соответствующей «опасному источнику» [37] по шкале рисков, которые могут быть вызваны неконтролируемыми источниками.

ТАБЛИЦА 4. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КАТЕГОРИИ ИСТОЧНИКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБЫЧНЫХ ВИДАХ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ [23]

Категория	Категоризация обычных видов практической деятельности ^a	Соотношение активностей ^b (A/D)
1	Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ) Облучатели Источники для дистанционной лучевой терапии Стационарные источники для многолучевой телетерапии (гамма-нож)	$A/D \geq 1000$
2	Источники для промышленной гамма-радиографии Источники для брахитерапии с высокой/средней мощностью дозы	$1000 > A/D \geq 10$
3	Стационарные промышленные измерительные приборы, в которых используются высокоактивные источники Приборы для каротажа скважин	$10 > A/D \geq 1$
4	Источники для брахитерапии с низкой мощностью дозы (исключая глазные аппликаторы и долговременные имплантаты) Промышленные измерительные приборы, в которых не используются высокоактивные источники Костные денситометры Нейтрализаторы статического электричества	$1 > A/D \geq 0,01$
5	Источники для брахитерапии с низкой мощностью дозы в виде глазных аппликаторов и долговременных имплантатов Рентгенофлюоресцентные анализаторы Электроннозахватные устройства Мессбауэровская спектроскопия Контрольные источники для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ)	$0,01 > A/D \geq \text{искл.}^c/D$

^a С учетом других факторов, помимо A/D.

^b Этот столбец может использоваться для определения категории источника исключительно по A/D. Это может быть целесообразно, например, если практическая деятельность неизвестна или отсутствует в списке, если источники имеют короткий период полураспада и/или являются открытыми, а также если источники агрегированы.

^c Количества, на которые распространяется исключение, приведены в приложении I ОНБ [11].

Если тот или иной вид практической деятельности предусматривает агрегирование источников в одном месте хранения или эксплуатации, где источники находятся в непосредственной близости друг от друга, например во время хранения, производства или перевозки, для целей категоризации их общая активность может суммироваться и рассматриваться как активность одного источника. Поэтому общую суммарную активность радионуклида можно разделить на соответствующую D-величину, а полученное соотношение A/D — сравнить с соотношениями A/D, приведенными в правом столбце таблицы 4, что позволит присвоить соответствующему виду практической деятельности категорию в зависимости от активности. Если агрегируются источники, состоящие из нескольких радионуклидов, то сумма соотношений A/D может использоваться при определении категории по формуле:

$$\text{агрегированное } A/D = \Sigma_n = \Sigma_i A_{i,n}/D_n$$

где

$A_{i,n}$ — активность каждого отдельного источника i радионуклида n ;

D_n — значение D радионуклида n .

В каждом случае необходимо осознавать, что при определении категории может потребоваться учитывать и другие факторы. Кроме того, анализируя накопление источников, необходимо учитывать, что практика может меняться: например, практика производства уранемера отличается от практики его использования.

3.3. ПРИНЦИПЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПО КАТЕГОРИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Незащищенные источники становятся причиной серьезных увечий и гибели людей во многих районах мира. МАГАТЭ опубликовало ряд отчетов, в которых описаны последствия для здоровья человека, а также экономические потери от инцидентов и аварий, вызванных неконтролируемыми источниками.

До 11 сентября 2001 года сохранность радиоактивных источников обеспечивалась в основном за счет предотвращения доступа к ним персонала, не имеющего надлежащей подготовки, и путем защиты от попыток хищения с целью получения финансовой выгоды. Теперь это концепция изменилась и включает необходимость предотвращения доступа к определенным источникам лиц, умышленно и злонамеренно пытающихся вызвать радиационное облучение или рассеяние радиоактивных материалов.

Для обеспечения сохранности источников необходимо, чтобы на всех этапах жизненного цикла применялись меры по предотвращению несанкционированного доступа к радиоактивным источникам, а также их потери, хищения и несанкционированной передачи. Для обеспечения безопасности радиоактивных источников необходимо контролировать как непосредственное, так и аварийное облучение от источников, чтобы вред, связанный с таким облучением, был минимален. Вопросы безопасности и сохранности источников тесно взаимосвязаны, и многие меры, направленные на решение одного вопроса, будут касаться и другого.

В 2009 году МАГАТЭ опубликовало практическое руководство «Security of Radioactive Sources» («Сохранность радиоактивных источников») [25], в котором учитывается общий подход к обеспечению физической безопасности и которое некоторые государства могли использовать в качестве ориентира при разработке своих текущих режимов физической безопасности. В данном руководстве предлагается дифференцированный подход к обеспечению физической безопасности, в котором используются различные уровни и функции физической безопасности: сдерживание, обнаружение, задержка, реагирование и управление физической безопасностью. Эта публикация согласуется с категориями радиоактивных источников МАГАТЭ [23], требованиями ОНБ [11] и требованиями Кодекса поведения [14]. Для установления показателей эффективности системы физической безопасности были определены три разных уровня физической безопасности (А, В и С). Уровень А предполагает наивысшую степень физической безопасности, для других уровней она постепенно снижается.

Каждый уровень физической безопасности имеет соответствующую задачу. Она определяет общий результат, который система физической безопасности должна быть способна обеспечить на данном уровне физической безопасности. Были определены следующие задачи:

- уровень физической безопасности А: *предотвратить* несанкционированное изъятие источника;
- уровень физической безопасности В: *свести к минимуму вероятность* несанкционированного изъятия источника;
- уровень физической безопасности С: *снизить вероятность* несанкционированного изъятия источника.

Злоумышленные действия могут включать несанкционированное изъятие источника или диверсию. Задачи физической безопасности касаются только несанкционированного изъятия,

однако их выполнение снизит также вероятность успешного осуществления диверсии. Системы физической безопасности, которые решают перечисленные выше задачи, дают некоторую (хотя и неполную) возможность выявить диверсионный акт и принять соответствующие меры.

Каждой категории радиоактивных источников, указанной в разделе 3.2, должен быть присвоен соответствующий уровень физической безопасности³. В отношении источников категории 1 должны действовать меры физической безопасности, соответствующие целям физической безопасности уровня А. В отношении источников категории 2 должны действовать меры физической безопасности, соответствующие целям физической безопасности уровня В. В отношении источников категории 3 должны действовать меры физической безопасности, соответствующие целям физической безопасности уровня С.

В ОНБ [11] содержатся общие требования к физической безопасности радиоактивных источников. В данном руководстве считается, что, хотя эти меры контроля обеспечивают достаточный уровень сохранности радиоактивных источников категорий 4 и 5, к радиоактивным источникам категорий 1, 2 и 3 должны применяться усиленные меры, указанные в данном руководстве, для снижения вероятности злоумышленных действий с этими источниками. Кроме того, регулирующий орган, учитывая специфику национальных угроз, при соответствующих обстоятельствах может посчитать нужным усилить физическую безопасность источников категорий 4 и 5. В злоумышленных целях могут использоваться не только радиоактивные источники, которые занимают наивысшее место в этой классификации. Так, большинство источников категории 1 будут находиться за защитным экраном и внутри стационарных устройств или установок. На извлечение такого источника уйдет много времени, и злоумышленник может получить весьма высокую дозу радиации. Поэтому возможно, что злоумышленник сосредоточится на источниках более низкой категории: они доступнее, менее опасны в обращении, транспортабельны и их легче спрятать. Для того чтобы отнести радиоактивный источник к той или иной группе физической безопасности, лучше всего использовать результаты оценки угроз. Это позволяет обеспечить наибольшую гибкость и точность при учете различий в уровнях угроз и условиях физической безопасности в государствах-членах. Это позволяет также относить источники к разным группам физической безопасности на различных этапах их жизненного цикла. В ином случае некоторые государства-члены могут провести оценки угроз и уязвимости в масштабе всей страны и на их основе соответствующим образом распределить источники по группам физической безопасности.

Как и в Кодексе поведения [14], каждая категория включает радиоактивный материал, выделяемый в случае разгерметизации или повреждения любого из источников в группе. Методология категоризации допускает также агрегирование источников, находящихся в одном месте. Если в ходе оценки конкретной угрозы будет обнаружено, что некоторые установки с источниками или некоторые мобильные источники более уязвимы с точки зрения присвоения злоумышленниками, эти источники, даже не являясь наиболее высокоактивными, могут быть отнесены к группе физической безопасности более высокого уровня.

3.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПО СИСТЕМЕ ИСО

В стандарте ISO 2919 [26] Международной организации по стандартизации вводится система классификации закрытых источников в зависимости от результатов испытаний. В стандарте приводится подробная информация об общих требованиях, эксплуатационных испытаниях, производственных испытаниях, маркировке и сертификации. Прототипы источников проходят

³ Руководящие указания в отношении положительной практики, данные здесь с формулировкой долженствования или просто в настоящем времени, представляют собой мнение экспертов, но не являются международно согласованными рекомендациями по выполнению соответствующих требований.

испытания на устойчивость к температуре, внешнему давлению, ударам, вибрации и проколам в порядке возрастания класса сложности испытаний [22]. Источники, предназначенные для того или иного применения, должны соответствовать минимальным критериям, указанным в стандарте.

Ниже приводится классификация источников ИСО по типу излучения и применения:

- источники гамма-излучения;
- источники бета-излучения;
- источники альфа-излучения;
- источники нейтронов;
- прочие источники для специальных применений (например, источники гамма- и нейтронного излучения для каротажа скважин).

Следует отметить, что источники обычно испускают смешанное излучение: радиоактивный распад сопровождается излучением, и дочерние продукты радиоактивного распада часто являются бета-излучателями. Кроме того, преобразование энергии частицы (электрона) в процессе поглощения вызывает тормозное излучение.

4. ПРИМЕНЕНИЯ, УСТРОЙСТВА И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ

В рамках практически всех применений радиоактивные источники находятся в экранированном корпусе, который также содержит другие приборы или механическое оборудование либо связан с ними. Это оборудование обычно называется «устройством». Характер устройства зависит от способа его применения. Во многих случаях устройство также используется для перевозки закрытого источника в то место, где его планируется использовать. Устройство обычно имеет защитный кожух, достаточный для поглощения излучения до уровня, при котором оно безвредно для окружающих, и «затвор», позволяющий направлять пучок излучения от источника на объект при открытии затвора.

В нижеследующем разделе описаны некоторые типичные устройства и связанные с ними источники, используемые в рамках разнообразных применений. Описание различных устройств увязано с документом «IAEA Categorization of Radioactive Sources» («Категоризация радиоактивных источников МАГАТЭ») [23]. Поскольку радиоактивные источники широко использовались для различных нужд в прошлом, важно принимать в расчет прежние области применения источников, а также устройства, которые использовались в то время.

4.1. УСТРОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ КАТЕГОРИИ 1

4.1.1. Радиоизотопные термоэлектрические генераторы

РИТЭГ представляют собой устройства, в которых тепло от радиоактивного распада радиоизотопов используется путем поглощения излучения из радиоактивного источника для генерации электроэнергии с помощью термопарного устройства. Наиболее часто используются два радионуклида: ^{90}Sr (330 ТБк — $2,5 \times 10^4$ ТБк) и ^{238}Pu (1–10 ТБк). Источники имеют диаметр до 100 мм и длину до 200 мм. Стронций используется в форме керамического титаната (SrTiO_3) и дважды герметично запаивается в капсулу с помощью аргоновой сварки. В нескольких РИТЭГ используется ^{90}Sr в форме стронциевого боросиликатного стекла. Капсула защищена от внешнего воздействия мощной оболочкой РИТЭГ, которая состоит из нержавеющей стали, алюминия и свинца.

Основным излучением является бета-излучение, которое действует на относительно небольшом расстоянии, однако источник также генерирует значительный объем опасного вторичного тормозного гамма-излучения. Стандартная генерируемая мощность лежит в диапазоне от нескольких ватт до десятков киловатт — в зависимости от уровня активности и типа используемого радиоизотопа. Эти устройства не имеют движущихся частей и рассчитаны на автономную эксплуатацию в течение десятков лет.

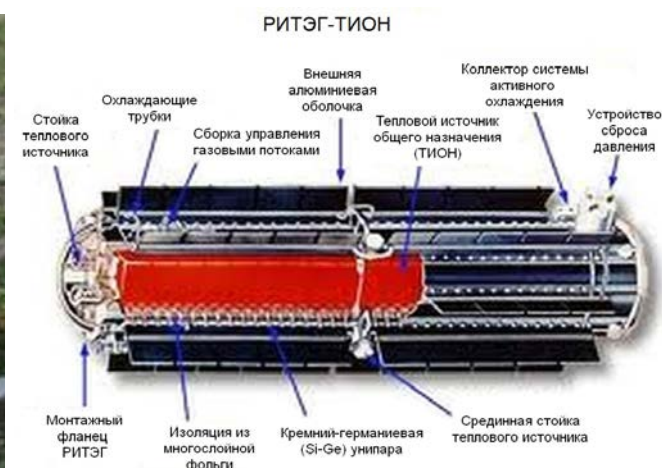
Двумя основными применениями являются космические полеты и производство электроэнергии в удаленных местах. РИТЭГ достаточно широко применялись США и бывшим СССР в Арктике в качестве источника питания для маяков и навигационных буев.

На рис. 5(а) показан РИТЭГ, произведенный в бывшем СССР. Всего было произведено более 1000 РИТЭГ, и около 700 используются до сих пор. На рис. 5(б) показан РИТЭГ производства США.

До 1970-х годов миниатюрные РИТЭГ на основе ^{238}Pu использовались в кардиостимуляторах в качестве пожизненного источника питания (рис. 6). Они больше не используются ввиду совершенствования аккумуляторных технологий и по соображениям безопасности и регулирования. Источники имеют низкую активность, поэтому данные устройства не вызывают особого беспокойства.



(a)



(b)

РИС. 5. Радиоизотопные термоэлектрические генераторы.



РИС. 6. Кардиостимулятор, работающий от РИТЭГ.

То, что такие устройства размещены в удаленных районах, означает, что они могут быть перемещены людьми, присвоены в злонамеренных целях или разобраны на металлолом ввиду ценности экранирующего материала. Кроме того, в результате смены правительства и/или утраты архивов эти источники могут быть заброшены и забыты, пока их не обнаружат вновь спустя некоторое время. Возвращение в земную атмосферу искусственных спутников Земли с РИТЭГ также вызывает озабоченность в связи с возможностью рассеяния радиоактивного материала.

4.1.2. Облучатели

Облучатели для стерилизации, или панорамные облучатели

Строго говоря, установка для гамма-стерилизации, или «панорамный облучатель», не является устройством. Она представляет собой экранированное здание, в котором в кассете размещено большое количество источников ^{60}Co или ^{137}Cs (в диапазоне от 0,2 до 600 ПБк). Продукт, требующий гамма-стерилизации, помещается в экранированную зону и в течение определенного времени подвергается воздействию источников для получения дозы гамма-излучения, необходимой

для уничтожения бактерий. Применения включают стерилизацию медицинских изделий (таких как иглы, шприцы и перчатки), сохранение пищевых продуктов и сшивание полимеров для улучшения их свойств. В настоящее время в мире эксплуатируется более 160 панорамных облучателей.

Размер источников, используемых в облучателях, варьируется от большого до малого (размером с карандаш). Эти источники смонтированы в специальных больших экранированных корпусах, и для экранирования источника в нерабочем состоянии используются либо глубокие бассейны с водой (рис. 7), либо массивные экраны из свинца или бетона (рис. 8). Когда источник открыт, мощность дозы внутри корпуса облучателя очень высока, и смертельная доза может быть получена в течение примерно минуты. Поэтому на таких установках предусмотрен ряд средств обеспечения безопасности, основанных на принципах резервирования, неодинаковости и взаимосвязи систем безопасности.



РИС. 7. Мокрое хранение источников категории 1 в бассейне с водой.

Источники, используемые в облучателях для стерилизации, обычно помещаются в двойную внешнюю капсулу из нержавеющей стали, содержащую таблетки ^{60}Co . Капсулы обычно имеют диаметр 11 мм и длину 450 мм. Наиболее распространенными моделями источников ^{60}Co , используемыми по всему миру на промышленных установках для гамма-стерилизации, являются Nordion C188 (Канада) и REVISS RSL2089 (международный консорциум). Ряд других производителей выпускает источники похожего размера, и существует множество других моделей, используемых как в промышленных облучателях, так и в облучателях малого масштаба.

Источники, заключенные в трубки из нержавеющей стали, называются «стержневыми». На рис. 9 приведена схема стержневого гамма-источника ^{60}Co . На рис. 10 показан высокоактивный промышленный источник стержневого типа.

Эти источники изготавливаются в соответствии со стандартами ИСО и другими стандартами [21, 27], и на их поверхности гравировается идентификационный код. Этот код также указывается в сертификате источника.

Если стержневые источники производятся из вторсырья, их форма и размеры могут отличаться от исходных. Начальная номинальная активность стержня составляет от 18,5 ТБк (500 Ки) до 450 ТБк (12 000 Ки). Обычный рекомендованный срок службы (РСС) составляет 15–20 лет.

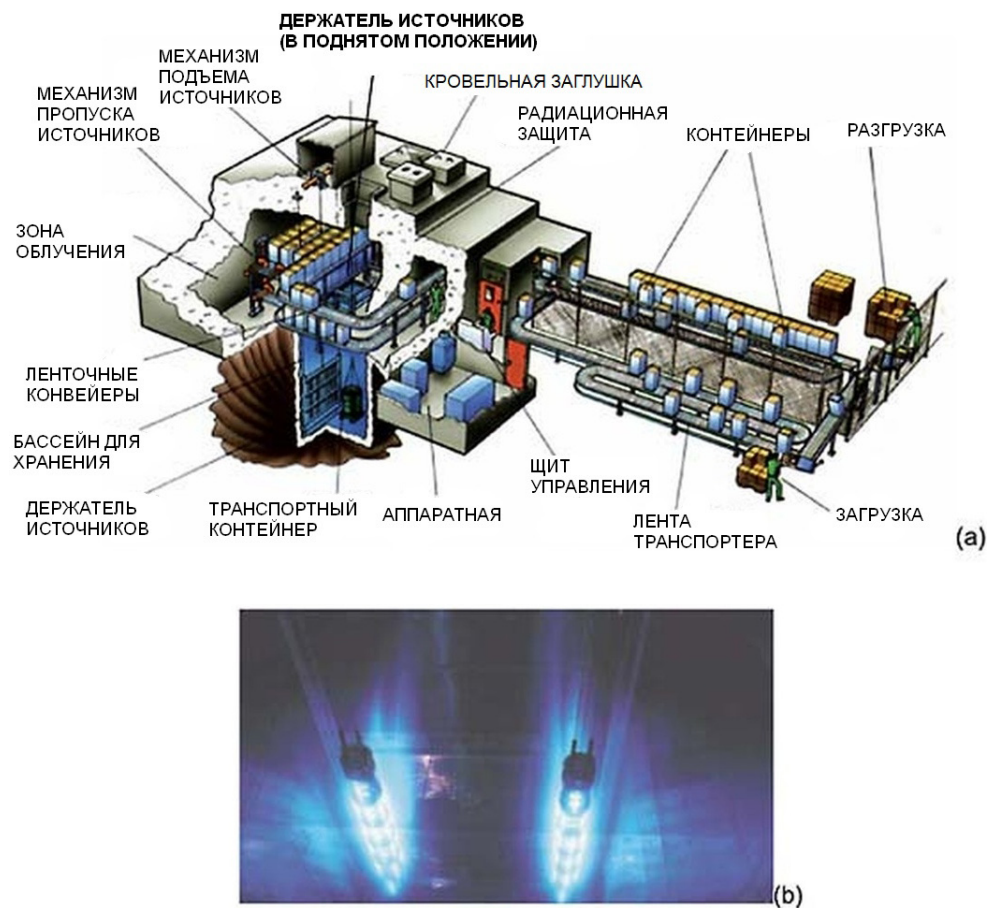


РИС. 8. а) Схема панорамного облучателя MDS Nordion JS-10000, в котором используется держатель источников панельного типа (необязательно в масштабе); б) различные держатели источников для облучателя MDS Nordion, в котором используются поддоны.

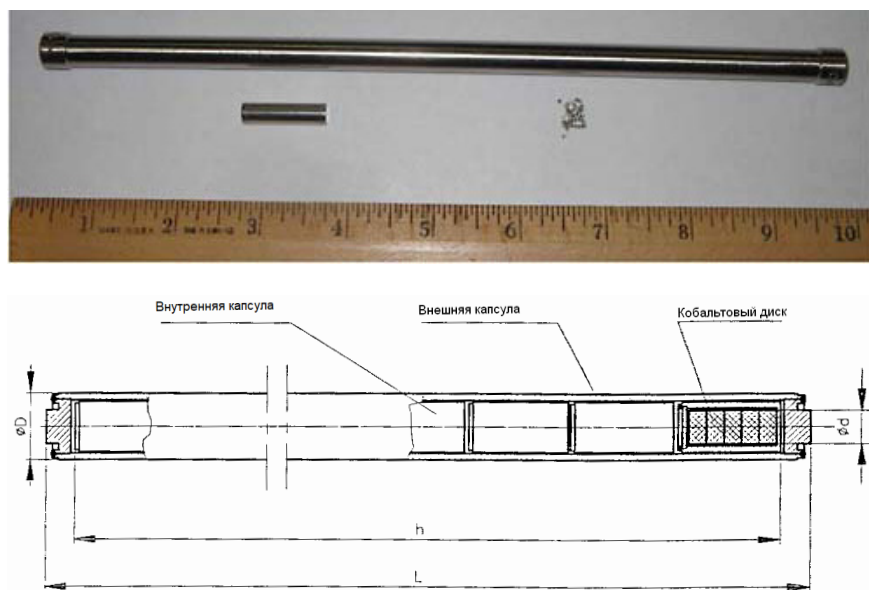


РИС. 9. Источник ^{60}Co стержневого типа.

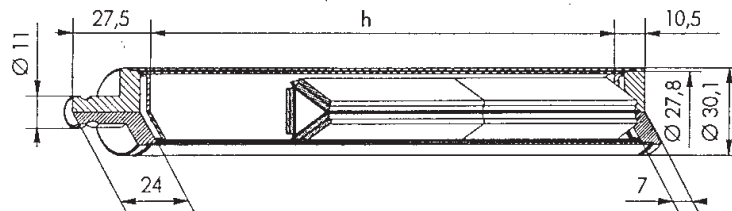


РИС. 10. Высокоактивный промышленный источник стержневого типа.

Если облучательная установка не обслуживается надлежащим образом, то существует вероятность того, что движению кассеты с источниками могут помешать посторонние предметы, вызвав деформацию модульных кассет и выпадение стержневого источника. Такое случалось неоднократно. Появляется вероятность падения стержневого источника в один из контейнеров, транспортирующих облучаемый продукт из установки. На современных облучателях в точках выхода продукции установлены системы мониторинга, позволяющие обнаружить такую ситуацию.

Еще одно соображение связано с тем, что вследствие радиоактивного распада определенную часть стержневых источников необходимо время от времени заменять. Обычно эту работу проводят поставщики источников, и старые источники помещают в специально сконструированные транспортные контейнеры для возврата. На этом этапе существует вероятность того, что проблемы с перевозкой приведут к задержкам, в результате чего контейнер будет помещен на хранение и о нем могут забыть.

4.1.2.1. Самоэранированные облучатели

Существует ряд небольших облучателей, неизменно называемых самоэранированными (или автономными) облучателями либо облучателями крови/ткани. Хотя они меньше по размеру, они содержат высокоактивные источники. Пример такого облучателя представлен на рис. 11. Более старый тип облучателя крови показан на рис. 12. Эти устройства используются для обработки крови и состоят из экранированной камеры с полостью, в которую помещается образец крови в пакете емкостью около 2 л. Больницы и банки крови облучают препараты крови для предотвращения трансфузионно-ассоциированной болезни «трансплантат против хозяина» (БТПХ). Трансфузионно-ассоциированная БТПХ — это смертельно опасное осложнение при переливании крови, которое может возникать, когда некоторые донорские лейкоциты поражают ткани реципиента.

Помимо стерилизации крови, тканей и семян, эти облучатели используются для окрашивания драгоценных камней, стерилизации медицинского оборудования, облучения насекомых и исследования влияния мутаций на сельскохозяйственную продукцию. Как правило, конструкция включает камеру для образцов с блокируемыми дверцами, а источники перемещаются вокруг камеры либо же камера располагается рядом с источниками. Простого пути доступа к источникам не существует, при этом облучатель с некоторыми модификациями может также служить транспортным контейнером для источников.

Некоторые устройства, в том числе определенные виды радиационных детекторов и дозиметров, требуют калибровки облучения, которая должна быть точной и достоверной при высоких дозах. Некоторые калибровочные источники, используемые для этих целей, также считаются самоэранированными облучателями. Как правило, для этой цели используются источники радионуклидов, поскольку энергия распада (и скорость распада) известна или легко вычисляется. Эти калибровочные облучатели в среднем являются менее активными источниками, чем другие самоэранированные облучатели, но некоторые из них содержат ^{137}Cs с активностью около 80 ТБк (2200 Ки).

В настоящее время существует несколько производителей самоэранированных облучателей, в том числе канадская фирма MDS Nordion, CIS-US, Inc., французская компания, которая больше не производит новые аппараты, но продолжает обслуживание существующих, и американская

компания J.L. Shepherd and Associates. В одних только США имеется 1341 самоэкранированный облучатель, в котором используются радиоактивные источники. Приблизительно 85% устройств работают на ^{137}Cs , а почти все остальные — на ^{60}Co . В их число входят облучатели крови, исследовательские облучатели и калибровочные облучатели.

Инциденты имели место лишь с немногими стационарными устройствами, что объясняется простотой и надежностью их конструкции.



РИС. 11. Типичный самоэкранированный облучатель.



РИС. 12. Более старая модель облучателя крови.

Хотя большинство таких облучателей стационарные, некоторые устройства, такие как облучатели «Гамма-колос», монтировались на тяжелых грузовиках или прицепах и перемещались по территории бывшего Советского Союза для облучения семян перед посевом. Большинство этих устройств к настоящему времени снято с транспортных средств и находится на хранении (рис. 13).



РИС. 13. Мобильные цезиевые облучатели, которые использовались в бывшем СССР.

4.1.3. Аппараты дистанционной лучевой терапии

Аппараты дистанционной лучевой терапии обычно используются в медицинских учреждениях, таких как больницы или клиники. В ходе лучевой терапии ионизирующее излучение направляется на тело человека или животного для лечения многих серьезных заболеваний, в первую очередь рака. В аппаратах дистанционной лучевой терапии могут использоваться высокоактивные источники радионуклидов для генерирования пучков ионизирующего излучения в виде жестких гамма-лучей. В силу присущих им свойств в дистанционной лучевой терапии можно использовать только четыре известных радионуклида: ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu и ^{226}Ra . Европий-152 пока не дошел до стадии клинического применения, а использование ^{137}Cs и ^{226}Ra было прекращено по практическим причинам и соображениям безопасности. Кобальт-60 в настоящее время используется в аппаратах дистанционной лучевой терапии, эксплуатируемых главным образом в развивающихся странах.

Радиоактивный источник, имеющий относительно небольшие размеры, надежно зафиксирован в тяжелом экранированном корпусе на конце вращающегося кронштейна (рис. 14). Пучок излучения из источника выходит наружу, когда во время использования открывается затвор. Поскольку ^{137}Cs был заменен на ^{60}Co , возникла необходимость обновлять источники через регулярные промежутки времени, обычно каждые пять-семь лет, из-за относительно короткого периода полураспада ^{60}Co . Поэтому оборудование для дистанционной лучевой терапии было разработано таким образом, чтобы источник можно было извлекать из головки и перемещать в экранированные транспортные контейнеры на месте.

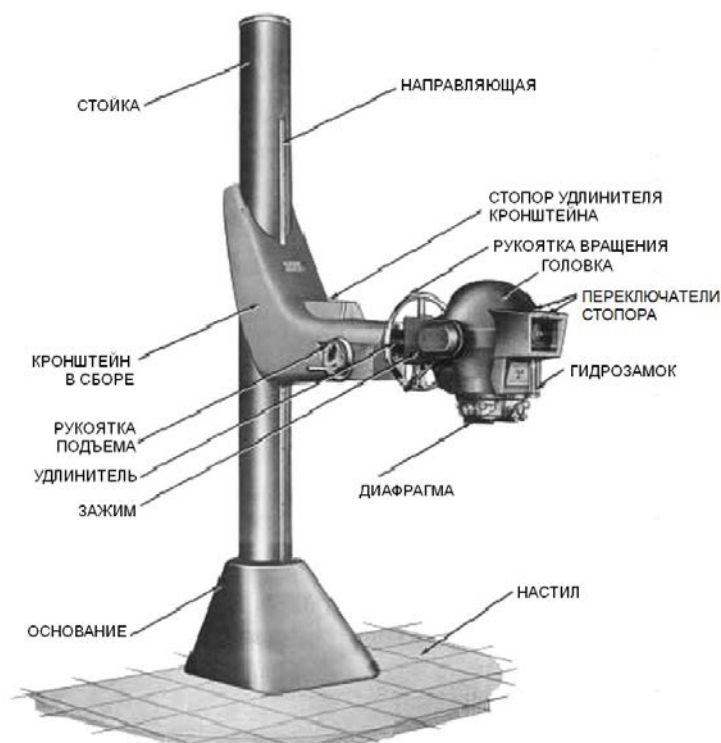


РИС. 14. Старый цезиевый аппарат дистанционной лучевой терапии (примерно 1960 года).

Чтобы сделать взаимозаменяемыми источники, используемые в различных аппаратах дистанционной лучевой терапии и на различных установках для производства радионуклидов, были разработаны стандартные капсулы для источников, используемые по всему миру. Установленные источники для дистанционной лучевой терапии обычно заменяются в течение одного периода полураспада, однако по финансовым соображениям они могут использоваться

дольше. Аппараты дистанционной лучевой терапии сконструированы таким образом, чтобы квалифицированные техники могли заменить источники на месте (аппараты не возвращаются производителю для замены источника).

Фотографии старых и поврежденных головок, снятых с аппаратов дистанционной лучевой терапии, представлены на рис. 15.



РИС. 15. Старые и поврежденные головки аппаратов дистанционной лучевой терапии.

Источники на основе кобальта-60 обычно твердые, изготавливаются из металла и состоят из нескольких таблеток или дисков. Они имеют двойную оболочку из нержавеющей стали. Существуют два или три стандартных размера источников: их можно устанавливать в головку аппарата дистанционной лучевой терапии между вольфрамовыми прокладками. На рис. 16 показаны источники ^{60}Co , используемые в различных аппаратах дистанционной лучевой терапии.



РИС. 16. Различные источники ^{60}Co , применяемые в аппаратах дистанционной лучевой терапии, с соответствующими крепежными элементами для установки в головки аппаратов.

Источники для дистанционной лучевой терапии на основе цезия-137 обычно представляют собой хлорид цезия, обеспечивающий высокую удельную активность, что позволяет создавать источники небольших размеров для лечебных целей. В случае повреждения защитной оболочки

источника на основе хлорида цезия высокая подвижность материала приводит к быстрому распространению загрязнения. Поэтому проблема становится более острой в случае источников в химической форме, допускающей легкое рассеяние материала.

4.1.4. Стационарные аппараты для многолучевой телетерапии (гамма-ножи)

Аппарат для многолучевой телетерапии — это устройство, в котором в едином корпусе установлено большое количество источников, направляемых на четко определенные зоны лечения. Этот аппарат используется для проведения медицинских процедур (радиохирургии) при раке мозга и других заболеваниях мозга.

Гамма-нож (Gamma Knife[®], компания Elekta, Стокгольм, Швеция) — это радиохирургическое устройство, которое используется в радиохирургии на протяжении последних 40 лет. Хотя за это время технология ушла далеко вперед, базовая конструкция и принципы работы гамма-ножа практически не изменились с тех пор, как в 1968 году шведский нейрохирург Ларс Лекселл представил прототип аппарата. Он включает 201 источник ^{60}Co , размещенный в центральном корпусе. Эти источники генерируют 201 коллимированный пучок, направленный в одну фокусную точку (изоцентр аппарата) на расстоянии от источника до фокуса около 40 см. Окончательное определение размера поля кругового пучка обеспечивается одним из четырех шлемов, создающих круговые поля с номинальным диаметром от 4 до 18 мм в фокусной точке (изоцентре) аппарата.

В мире насчитывается около 200 аппаратов типа «гамма-нож», в том числе не менее 104 в США. Единственным производителем гамма-ножей является швейцарско-шведская компания Elekta, а основным поставщиком миниатюрных закрытых источников на основе кобальта-60 — MDS Nordion. Китайская компания-конкурент GammaStar представила на рынке аналогичное устройство, а Elekta в настоящее время предлагает новую версию гамма-ножа со 192 источниками вместо 201, использовавшегося в предыдущих моделях.

Помещения, в которых расположен терапевтический аппарат, специально проектируются таким образом, чтобы у них были толстые экранирующие стены, а также другое защитное оборудование. Типичный аппарат для многолучевой телетерапии показан на рис. 17.



РИС. 17. Установка «гамма-нож»: основной корпус аппарата, содержащий 201 источник кобальта ($30 \text{ Ки} = 1,11 \text{ ТБк}$ на каждый источник), процедурная кушетка и коллиматорный шлем, прикрепленный к процедурной кушетке.

Каждый из источников ^{60}Co в гамма-ноже представляет собой стальную капсулу, которая имеет диаметр 1 мм и высоту 20 мм и содержит 20 таблеток ^{60}Co . Она вставляется в еще одну стальную капсулу со втулкой, которая помещается в центральный корпус аппарата. Каждый источник в сборе со втулкой совмещается с соответствующим предварительным коллиматором (6,5 см вольфрамового сплава), стационарным коллиматором (9,25 см свинца) и окончательным коллиматором (6 см вольфрамового сплава) на одном из четырех шлемов.

4.2. УСТРОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ КАТЕГОРИИ 2

4.2.1. Излучатели для промышленной гамма-радиографии

Гамма-радиография входит в число технологий, используемых в промышленности для оценки безопасности и контроля качества. В частности, она широко используется в химической, нефтехимической и строительной отраслях для радиографического контроля трубопроводов, котлов и сооружений в тех случаях, когда в результате отказа могут возникнуть серьезные последствия для экономики и безопасности.

Излучатели для промышленной гамма-радиографии используются при радиографическом исследовании инженерных сооружений. Они имеют один источник, прикрепленный к гибкому кабелю, что позволяет помещать его вблизи исследуемого объекта. Позади объекта закрепляется радиографическая пленка, которая экспонируется проникающими гамма-лучами. Изменения в плотности радиографируемого объекта проявляются на пленке. Эти устройства часто называют также радиографическими камерами (рис. 18).

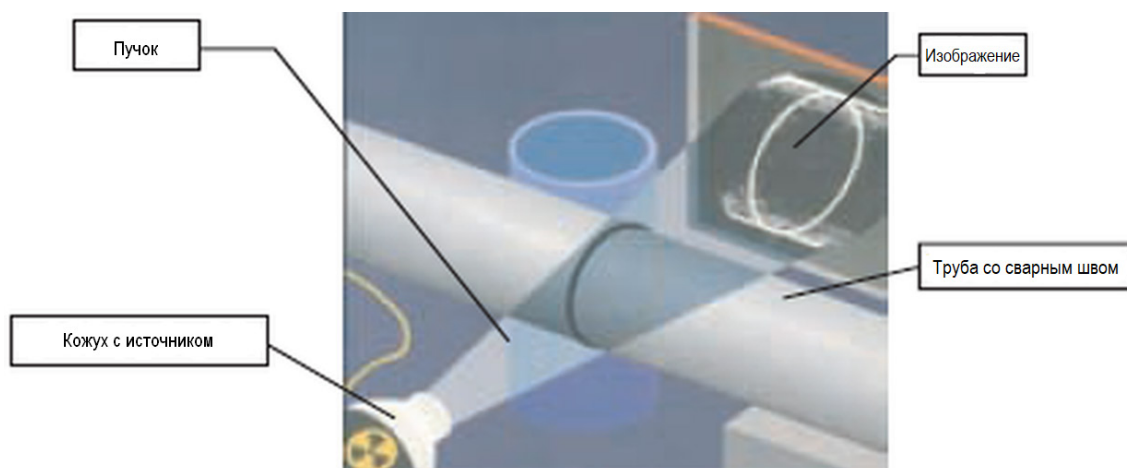


РИС. 18. Типичная система гамма-радиографии.

Большинство приборов для промышленной радиографии состоит из радиографического блока, в котором в качестве экранирующего материала может использоваться обедненный уран, и одного или нескольких закрытых источников (рис. 19). В настоящее время в гамма-радиографии используются источники, содержащие ^{192}Ir , ^{60}Co , ^{169}Yb , ^{170}Tm или ^{75}Se . Источники обычно имеют двойную оболочку из нержавеющей стали и содержат одну или несколько таблеток активного материала в металлической форме. Источник находится внутри гибкого устройства, называемого держателем (см. рис. 20–22). Портативные устройства для промышленной радиографии обычно имеют небольшой размер, но являются относительно тяжелыми из-за экранирования.



РИС. 19. Типичные излучатели для промышленной радиографии.



РИС. 20. Типичные старые источники для гамма-радиографии в комплекте с кабелем.

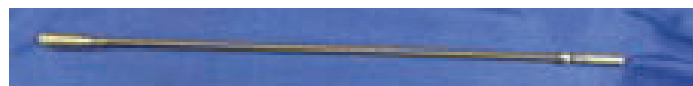


РИС. 21. Типичный современный источник для гамма-радиографии в комплекте с кабелем.



РИС. 22. Типичная внутренняя капсула с источником для гамма-радиографии до установки внутрь кабеля.

В нерабочем состоянии источник находится в центре контейнера источника. Во время использования источник выдвигается в нужное положение с помощью устройства дистанционного управления. На предприятиях тяжелой промышленности, например в сталелитейных или производственных цехах, портативное, мобильное (на колесах) или стационарное радиографическое оборудование, содержащее ^{192}Ir , ^{60}Co или ^{137}Cs , может быть установлено в специально созданные корпуса. Поскольку мобильные или стационарные установки имеют более мощное экранирование, чем корпуса портативных источников, их труднее похитить или демонтировать.

В корпусах портативных источников содержится несколько десятков килограммов экранирующего материала, такого как обедненный уран, свинец или вольфрам, который может рассматриваться как потенциально ценный. Следует также отметить тот факт, что портативность большинства приборов позволяет использовать их практически везде. Зачастую это происходит в удаленных местах или в экстремальных рабочих условиях. Вследствие этой ситуации, а также ввиду ограниченности или отсутствия надзора возникает вероятность утери или хищения целых контейнеров с источниками. В результате они могут оказаться на предприятии по переработке металлолома или стать достоянием общественности. Эти проблемы схожи с проблемами изъятых из употребления источников для дистанционной лучевой терапии, и хотя уровни активности в промышленной радиографии ниже, они все же могут оказаться летальными. Вероятно, наиболее значительную угрозу создает утеря неэкранированного источника. Большое количество промышленных радиографических источников, рабочие условия, уровень активности и портативность/мобильность большинства таких источников делают их главными объектами для умышленного присвоения в злонамеренных целях.

4.2.2. Аппараты для брахитерапии с высокой/средней мощностью дозы

Брахитерапия (терапия на малых расстояниях) — это термин, обозначающий внутритканевое или полостное применение радиоактивных источников путем введения их непосредственно в опухоль (груди, предстательной железы), полости (кожа, прямая кишка) или специальные аппликаторы (влагалище, шейка матки). Существуют две несколько различающиеся разновидности брахитерапии. Обычно они называются брахитерапией с высокой мощностью дозы (ВМД) (категория 2) и брахитерапией с низкой мощностью дозы (НМД) (категория 4 или 5). Источники с ВМД и некоторые источники с НМД могут быть выполнены в виде длинной проволоки, прикрепленной к устройству (устройство дистанционного афтерлодинга).

Устройства афтерлодинга могут быть тяжелыми вследствие экранирования источников, когда они не используются. Устройство может быть оснащено колесами для транспортировки в пределах учреждения. Устройство дистанционного афтерлодинга может также содержать электрические или электронные компоненты, обеспечивающие его работу (рис. 23). При использовании этих устройств сначала в тело вводят катетеры, а затем дистанционно вводят источники, прикрепленные к тросикам.

В прошлом в брахитерапии использовался ^{226}Ra . Источники помещались в платиновые капсулы в виде игл или трубочек толщиной несколько миллиметров и длиной до 5 см. В настоящее время для брахитерапии с высокой и средней мощностью дозы в основном используется ^{192}Ir , но также применяются ^{60}Co и ^{137}Cs . Выпускаются источники различных размеров и форм, в том числе в виде проволок и лент.

Неиспользуемые источники для брахитерапии обычно хранятся в сейфах или контейнерах со свинцовой защитой, но имели место случаи, когда источники в нарушение регламента оставались загруженными в аппликаторы в транспортных тележках. Подобным же образом источники, срок службы которых истек, оставались в сейфах или транспортных контейнерах. При обрыве тросика устройства дистанционного афтерлодинга источник может отделиться от него. Из-за игнорирования этих проблем могут возникнуть значительные риски.

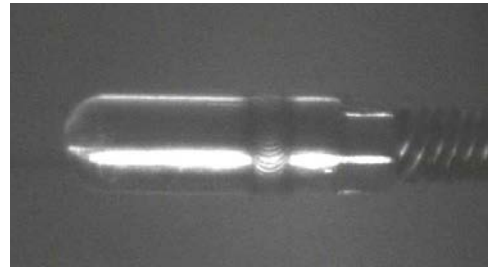


РИС. 23. Аппарат для брахитерапии с НМД, работающий на источниках ^{192}Ir , и сам источник ^{192}Ir .

4.2.3. Калибровочные системы

В калибровочных системах используются радиоактивные источники высокой активности (приблизительно от 15 до 82 ТБк (от 400 до 2200 Ки)), чтобы создавать радиационные поля известной интенсивности в целях калибровки оборудования радиационного мониторинга и дозиметров, позволяющей оценить точность работы такого оборудования и дозиметров. Для калибровки приборов и дозиметров в соответствии с принятыми стандартами требуется источник с измеренной активностью. На рис. 24 показаны схема и фотография типичного источника для калибровки гамма-пучка.

Система обычно состоит из радиоактивных источников, защитного кожуха, механизма позиционирования источника и направляющей или внутренней камеры для размещения калибруемых предметов. В современных калибровочных системах могут быть предусмотрены компьютерный контроллер и системы безопасности, такие как камеры видеонаблюдения, радиационные мониторы, предупреждающие лампы и индикаторы, а также система защитной блокировки.

Для калибровки приборов и других калибровочных целей применяется большое количество радиоактивных источников. Вследствие использования широкого спектра радионуклидов с различной активностью эти источники не могут быть отнесены к какой-либо одной конкретной категории, однако более мощные калибровочные источники ^{60}Co и ^{137}Cs обычно попадают в категорию 2. Некоторые источники могут относиться к категориям 3 и 4, но большинство из них попадают в категорию 5.

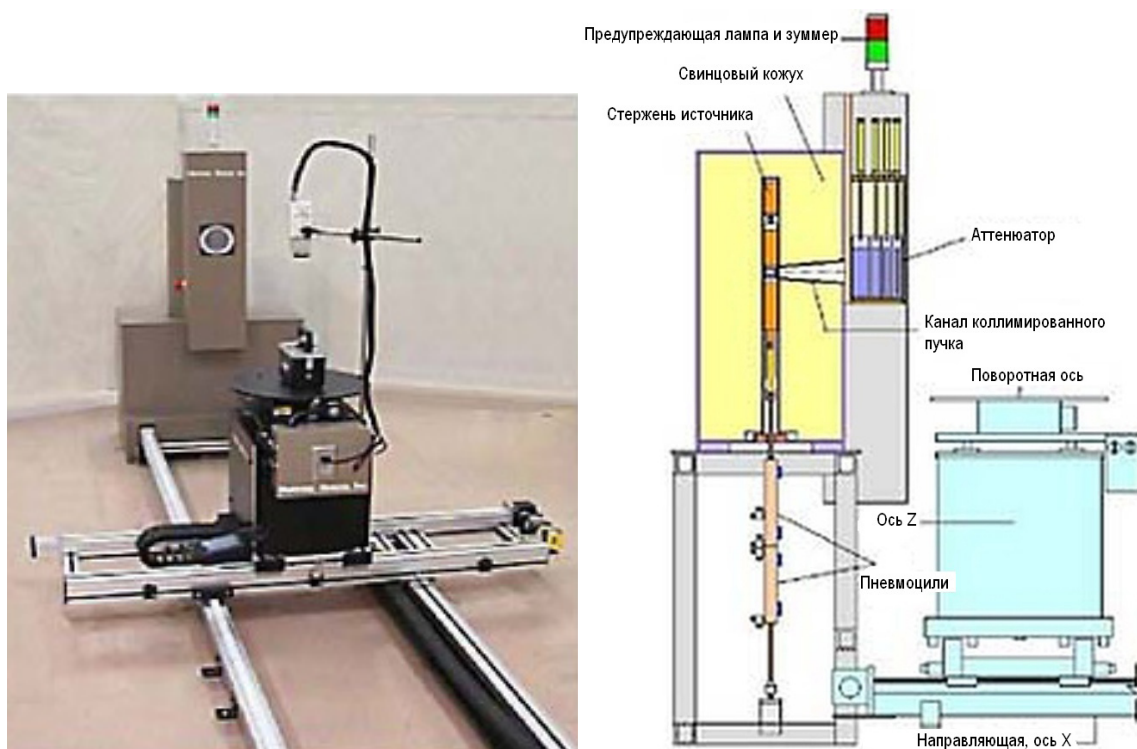


РИС. 24. Типичная конфигурация гамма-калибратора для калибровки измерительных приборов.

Одни калибровочные источники, особенно с более высокой активностью, находятся в специально сконструированных экранированных и коллимированных устройствах, являющихся частью крупных экранированных установок. Другие представляют собой просто отдельные источники, которые могут использоваться для различных нужд, например в ядерной отрасли, в сфере охраны окружающей среды и в исследовательских и образовательных учреждениях. В калибровочных источниках используется широкий спектр радионуклидов или их комбинаций, при этом источники могут иметь разнообразные конструкции и формы (рис. 25).



РИС. 25. Примеры низкоактивных калибровочных источников на основе ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{226}Ra .

4.3. УСТРОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ КАТЕГОРИИ 3

4.3.1. Стационарные промышленные измерительные приборы

Стационарные радиоактивные приборы используются для измерения уровня, толщины, плотности, содержания влаги или наличия определенного материала в процессе его добычи, производства или обработки без контакта с самим материалом (рис. 26). В зависимости от конкретного применения промышленные измерительные приборы могут содержать относительно небольшие количества радиоактивного материала либо источники с уровнем активности до 1 ТБк. Более мощные (~100 ГБк) источники на основе ^{137}Cs , ^{60}Co и ^{252}Cf , используемые в уровнемерах, датчиках конвейеров, землечерпалок и доменных печей или циферблатных индикаторах для измерения толщины стенок труб, представляют собой источники категории 3, в то время как большинство других толщиномеров, измерителей влажности/плотности и уровня заполнения относится к категории 4.

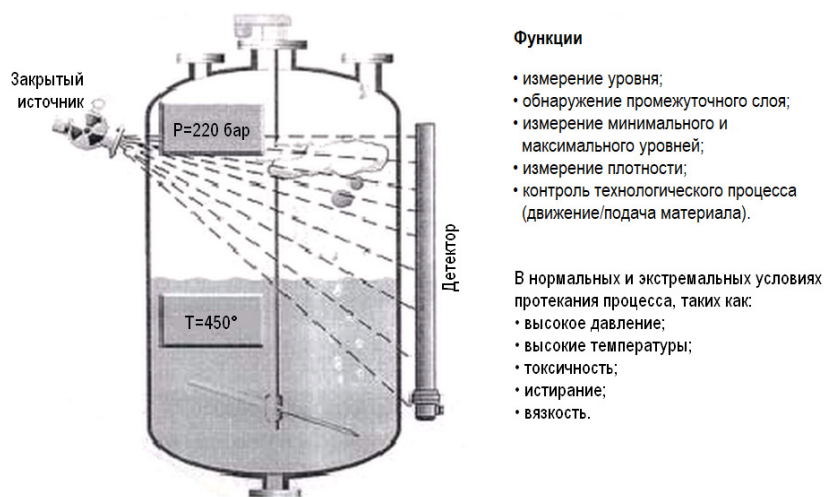


РИС. 26. Различные функции закрытых источников при контроле технологических процессов.

В доменных печах, применяемых в сталелитейной промышленности, часто используются источники ^{60}Co для измерения износа огнеупорной кладки нижнего пода печи. В циферблатных индикаторах толщины стенок труб используются источники на основе ^{137}Cs для измерения толщины стенок труб, проходящих через центр прибора. Хотя эти приборы включены в категорию стационарных измерительных приборов, они могут также устанавливаться на грузовиках. При этом они могут быть весьма тяжелыми (~100 кг) из-за свинцового или вольфрамового экранирующего корпуса (рис. 27).

Размеры устройств обычно невелики, но они могут быть размещены на определенном расстоянии от детектора излучения, в корпусе которого могут находиться соответствующие электрические или электронные компоненты. Местонахождение таких устройств или источников на установке не всегда постоянно, поскольку зачастую эти устройства подключены к оборудованию для контроля технологических процессов. Такое непостоянство может приводить к утрате контроля, если на установке принято решение о модернизации некоторого оборудования или о прекращении операций.



РИС. 27. Примеры разных типов измерительных приборов.

Вышедший из употребления источник может оказаться на предприятии по переработке металлолома. Если на таком предприятии отсутствует дозиметрический контроль или соответствующая система не работает, то источник может быть расплавлен, что приведет к загрязнению литейного оборудования и попаданию радиоактивного материала в готовые изделия.

4.3.2. Каротажное оборудование

Каротаж скважин — это практика измерения свойств геологических пластов, через которые была пробурена или бурится скважина. Каротажная диаграмма позволяет отслеживать или фиксировать данные, получаемые с помощью спущенного в скважину датчика, в зависимости от глубины скважины. Наиболее часто каротаж применяется в нефтяной и газовой промышленности для поиска извлекаемых запасов углеводородов. Нефте- и газодобывающим компаниям требуются несколько типов данных о геологическом слое, в частности о содержании углеводородов. Для измерения этих свойств источники и датчики, помещенные в корпуса, называемые зондами, спускаются в существующую скважину (метод кабельного каротажа) или устанавливаются за буровой головкой для проведения измерений во время бурения скважины.

Для определения плотности, пористости и влажности геологических структур или содержания в них углеводородов используется сочетание источников нейтронов и гамма-излучения. Наиболее часто применяемыми источниками нейтронов являются источники на основе $^{241}\text{Am-Be}$ с активностью до 800 ГБк, но в некоторых случаях используются $^{239}\text{Pu-Be}$ и $^{226}\text{Ra-Be}$. Что касается источников гамма-излучения, то чаще всего применяются источники на основе ^{137}Cs с активностью 50–100 ГБк. В качестве эталонных все еще используются источники меньшей активности, часто радиевые. Источники обычно помещают в длинные (как правило, 1–2 м), но тонкие (диаметр <10 см) устройства, содержащие также детекторы и различные электронные компоненты. Эти устройства имеют большой вес, поскольку условия их использования требуют большой прочности. На рис. 28 представлено схематическое изображение источника нейтронов и каротажного оборудования. На рис. 29 и 30 показаны примеры каротажного оборудования и типичных источников нейтронов на основе $^{241}\text{Am-Be}$, используемых при каротаже нефтяных скважин.

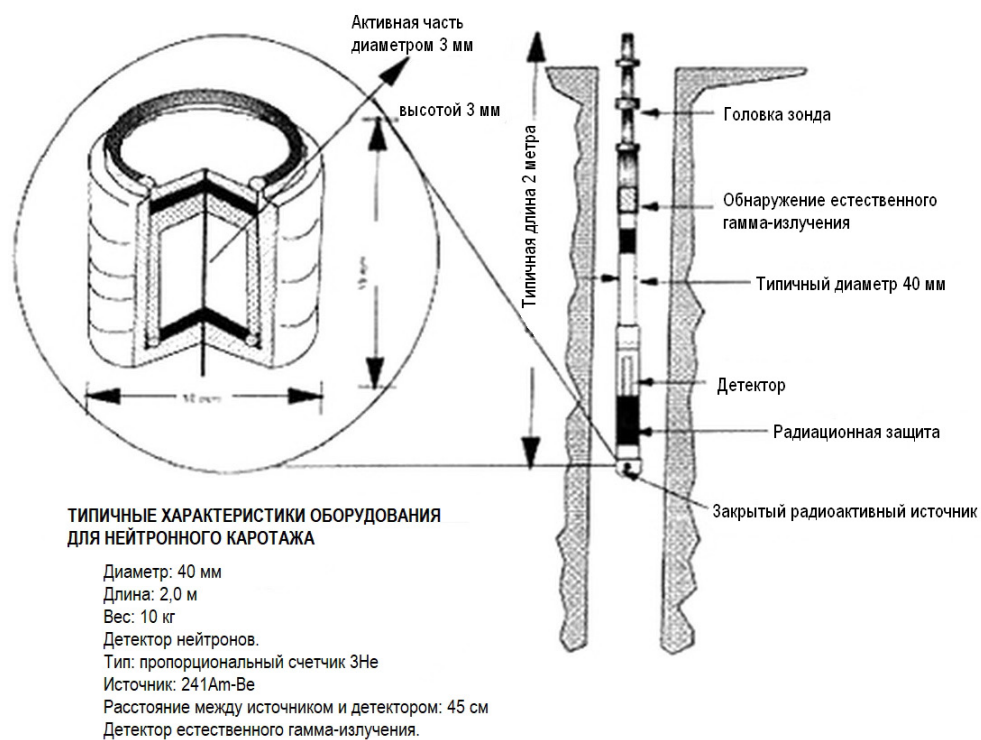


РИС. 28. Схематическое изображение источника нейтронов и каротажного оборудования.



РИС. 29. Головка излучателя внутритрубного дефектоскопа в транспортном контейнере.



РИС. 30. Типичные источники нейтронов для каротажа нефтяных скважин на основе $^{241}\text{Am-Be}$.

На рис. 31 представлена фотография гамма-гамма-плотнмера; можно видеть устройство для работы с источником, используемое для установки и извлечения источника ^{137}Cs .



РИС. 31. Прибор Atlas Densilog, в котором для измерения плотности кабельным методом используется остеклованный источник ^{137}Cs . Выступающий снизу стержень — это устройство для работы с источником. Круги светлого цвета — это окошки для источника и детекторов.

Контейнеры, в которых хранятся и транспортируются источники нейтронов для каротажа скважин, имеют большие размеры и могут привлечь похитителей. Основная часть экранирующей защиты обычно представляет собой пластик или парафин и может быть выброшена похитителем как не имеющая ценности, что ведет к потенциально опасной ситуации. Контейнеры гамма-источников обычно защищаются обедненным ураном или свинцом, который может представлять ценность в качестве металлолома. Характер работы с этими источниками требует, чтобы их можно было легко извлекать из контейнеров, для того чтобы ввести в скважину. Если не обеспечить надлежащий контроль, то источник относительно легко может быть извлечен из контейнера и оставлен в опасном состоянии.

4.3.3. Кардиостимуляторы

В 1970-х и 1980-х годах ряду пациентов были имплантированы кардиостимуляторы (рис. 6), в которых в качестве источника энергии использовался радиоактивный материал (т. е. миниатюрные РИТЭГ). Наиболее часто использовался радионуклид ^{238}Pu (с небольшим количеством ^{241}Am в качестве загрязнителя источника). Одним из преимуществ ^{238}Pu является то, что его относительно легко экранировать, что сводит к минимуму дозу внешнего облучения.

Существует вероятность того, что после аутопсии источники могут быть отправлены в отходы и в конце концов оказаться в металлоломе. То обстоятельство, что источники ^{238}Pu легко экранируются, также означает, что их непросто обнаружить.

4.4. УСТРОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ КАТЕГОРИИ 4

4.4.1. Источники для брахитерапии с низкой мощностью дозы

Многие общие соображения по поводу брахитерапии, относящиеся к источникам категории 2, применимы и к данному случаю, за исключением того, что активность источников ниже и что также используются некоторые другие радионуклиды, такие как ^{125}I и ^{198}Au .

4.4.2. Толщиномеры/уровнемеры

Источники бета-излучения (рис. 32) или мягкого гамма-излучения используются для измерения толщины бумаги, пластмасс и тонких легких металлов, а источники гамма-излучения более высокой энергии применяются в производстве стальных листов (пример приведен на рис. 33). В некоторых отраслях, например в пивоваренной промышленности и на заводах по разливу безалкогольных напитков, источники низкой активности используются при контроле качества с целью проверки правильности заполнения бутылок или банок. Изготовители сигарет также используют источники для поддержания надлежащей плотности упаковки.



РИС. 32. Деталь держателя источника бета-излучения, используемого в измерительном приборе.

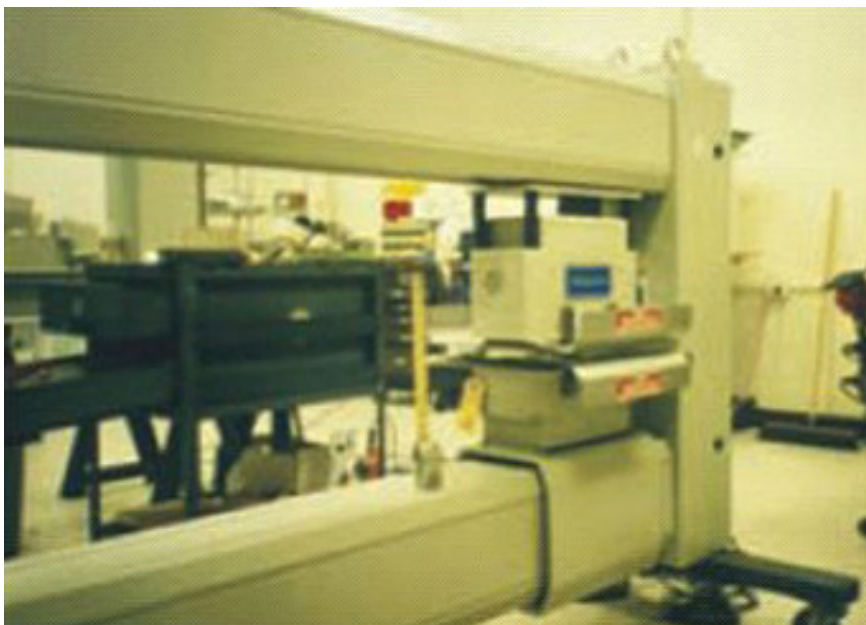


РИС. 33. Бета-измеритель, установленный на стане для обработки полотна.

В этих отраслях, как правило, используются следующие радионуклиды: ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{147}Pm , ^{244}Cm , а также ^{137}Cs . Их активность находится в диапазоне от 0,4 ГБк до примерно 20 ГБк. Радиоактивный источник выбирается в зависимости от толщины измеряемого материала, чтобы оптимизировать характеристики ослабления излучения. Стронций-90 используется для более толстых и плотных материалов, а ^{147}Pm — для самых тонких материалов меньшей плотности. Примеры источников цезия, извлеченных из измерительных приборов, приведены на рис. 34.



РИС. 34. Примеры источников цезия, извлеченных из измерительных приборов.

4.4.3. Портативные влагомеры/плотномеры

В этих устройствах используются сразу два типа источников излучения: высокоэнергетический гамма-источник ^{137}Cs с активностью около 40 МБк (1 мКи) и источник нейтронов $^{241}\text{Am/Be}$ с активностью около 2 ГБк (55 мКи). Устройства являются портативными и обычно используются для измерения плотности и содержания влаги в почве и строительных материалах. Плотность определяется путем измерения количества обратнорассеянного излучения от гамма-источника, а содержание влаги — на основе измерения гамма-излучения и количества обратнорассеянного нейтронного излучения.

Источники имеют небольшие размеры — обычно несколько миллиметров в длину и несколько сантиметров в диаметре — и располагаются либо полностью внутри устройства, либо на конце стержня с рукояткой. Как правило, держатели источников состоят из тяжелого стального корпуса, в центр которого помещен источник, и нейтронного экрана, в роли которого может выступать полиэтилен или другой материал с высоким содержанием водорода. Их устройство достаточно просто: они оснащены затвором, и, когда он открывается, через отверстие проходит пучок излучения. В большинстве случаев детектор нейтронов находится в том же устройстве, что и источник.

Влагомеры используются в сельском хозяйстве для достижения оптимального орошения (рис. 35), а комбинированные приборы или плотномеры зачастую применяются в дорожном строительстве для обеспечения надлежащего уплотнения материалов фундамента (рис. 36).



РИС. 35. Устройство для измерения влажности сыпучих материалов.



РИС. 36. Портативный измерительный прибор на основе $^{241}\text{Am}/\text{Be}^{137}\text{Cs}$.

Портативные измерительные приборы используются в удаленных районах при строительстве дорог. Из-за этого обстоятельства, а также вследствие их малых размеров существует вероятность того, что они могут быть потеряны или похищены. Иногда они могут повреждаться другим дорожно-строительным оборудованием, и это может оставаться незамеченным.

4.4.4. Костные денситометры

Как следует из названия, источники для костных денситометров применялись в устройствах, предназначенных для измерения плотности костных тканей в рамках диагностики остеопороза. В этих источниках в основном используются радионуклиды ^{109}Cd , ^{153}Gd , ^{125}I и ^{241}Am с активностью в диапазоне приблизительно от 1 до 50 ГБк.

4.4.5. Нейтрализаторы статического электричества

Во многих отраслях промышленности из-за выработки статического электричества в процессе производства возникает проблема оседания частиц пыли на компонентах, что может создать угрозу возгорания. Для сведения этих проблем к минимуму используются нейтрализаторы статического электричества, в состав которых входят источники ^{241}Am , ^{210}Po и ^{90}Sr .

Существуют два основных типа таких устройств: устройства в форме брусков (рис. 37) и устройства соплового типа (рис. 38). Устройства в форме брусков испускают на расстояние около 8 см от поверхности «облако» альфа-частиц, которое ионизирует окружающий газ (воздух) и позволяет безопасно заземлять любой статический заряд на окружающих материалах путем медленного разряда. Устройства соплового типа подключаются к пневмопроводу, и проходящий через них воздух ионизируется. Получаемый поток воздуха можно использовать для сдувания пыли с предметов и устранения притягивающего пыль статического заряда на них. Что касается устройств в форме брусков, то фольга находится в металлическом корпусе с решеткой, обеспечивающей свободное движение ионизированного воздуха, но при этом защищающей фольгу. В устройствах соплового типа фольга находится в трубчатом металлическом корпусе, который является частью пневмопровода и рукоятки.

Размеры устройств могут быть разными: от портативных устройств длиной в несколько сантиметров до стационарных установок длиной до нескольких метров и шириной в несколько сантиметров (рис. 37). Геометрическая форма некоторых из этих устройств достаточно сложна в том смысле, что материал радиоактивного источника распределен по поверхности конструкции. Поскольку нейтрализаторы статического электричества испускают альфа-частицы, конструкция источника имеет невысокую прочность и не выдерживает воздействия физических нагрузок или пожара, которые могут привести к распространению загрязнения.

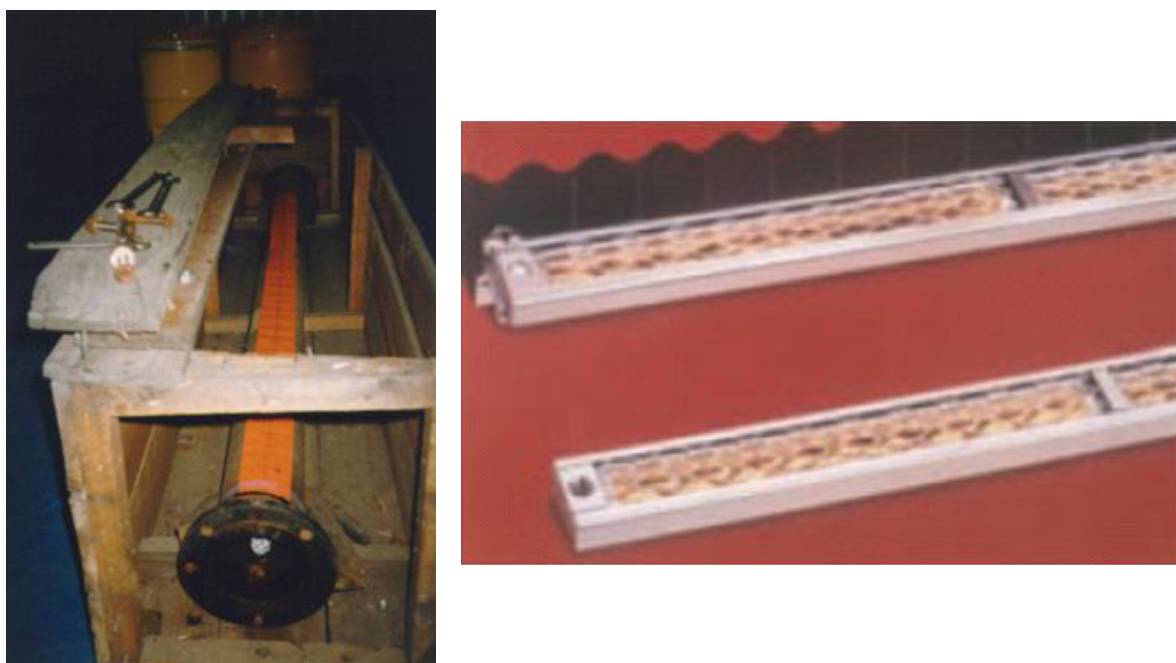


РИС. 37. Нейтрализаторы статического электричества в форме брусков.



РИС. 38. Типичный нейтрализатор статического электричества соплового типа.

4.5. УСТРОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ КАТЕГОРИИ 5

Существует большое количество разнообразных источников категории 5, которые используются в рентгеновской флюоресценции, устройствах с электроннозахватными детекторами, мессбауэровской спектроскопии, позитронно-эмиссионной томографии, тритиевых мишенях и дымовых пожарных извещателях (рис. 39 и 40). Кроме того, с помощью источников $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ проводится лечение поверхностных заболеваний кожи и глаз.

Носоглоточные аппликаторы (^{90}Sr) заменили радиевый зонд «Crowe», который использовался в 1970-х годах. В то время были также разработаны постоянные имплантаты, в которых использовались зерна ^{198}Au . Сегодня в постоянных имплантатах применяются ^{125}I , $^{106}\text{Ru/Rh}$ и ^{103}Pd .



РИС. 39. Разобранный дымовой пожарный извещатель.

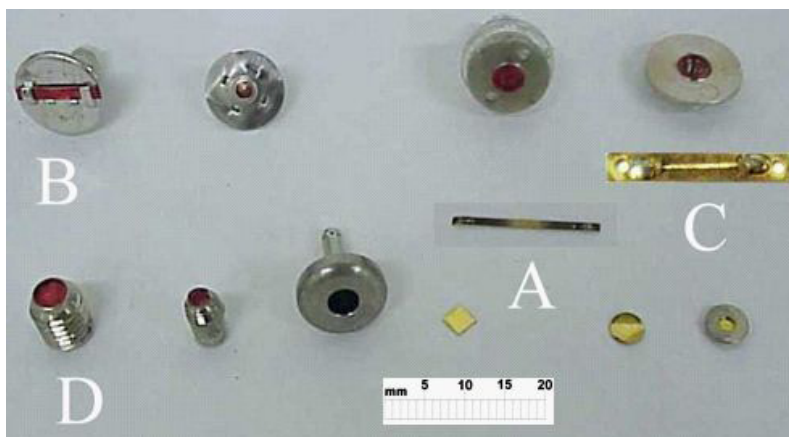


РИС. 40. Типичные радиоактивные источники ^{241}Am , используемые в дымовых пожарных извещателях.

Источники категории 5 представляют настолько низкую опасность, что, как правило, их не требуется учитывать в национальной стратегии. Утрата контроля над такими источниками — это скорее вопрос регулирования и административного управления, чем проблема радиационной безопасности и сохранности радиоактивных источников.

4.6. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ

Особую проблему с точки зрения управления представляют оставшиеся от прежней деятельности источники, которые использовались до введения соответствующих нормативных требований и все еще находятся на хранении. Тип таких источников зависит от того, когда в государстве-члене вступили в силу меры регулирующего контроля. Оставшиеся от прежней деятельности источники в основном содержат радий, но не только его.

4.6.1. Молниеотводы

Радиоактивные молниеотводы (рис. 41) устанавливались во многих странах. Содержащиеся в источниках радионуклиды, такие как ^{60}Co , ^{85}Kr , ^{152}Eu , ^{226}Ra или ^{241}Am , повышают эффективность устройства за счет ионизации окружающего воздуха. В случае использования ^{60}Co , ^{85}Kr или ^{152}Eu радиоактивное содержимое помещалось в капсулу и экранировалось, чтобы направить пучок излучения вверх. Риск загрязнения отсутствует, но мощность дозы на кончике стержня может достигать нескольких тысяч мЗв/ч. Радий-226 и ^{241}Am не заключаются в капсулы, а осаждаются на фольгу или смешиваются с керамическим материалом. Мощность дозы составляет менее 1 мЗв/ч, но загрязнение происходит постоянно. По этим причинам, а также потому, что эффективность устройства была недостаточной, использование радиоактивных молниеотводов (проводников) было прекращено. С 1986 года производство и продажа радиоактивных молниеотводов запрещены во всех странах Европейского союза.



РИС. 41. Молниеотводы, в которых используется ^{241}Am .

4.6.2. Использование в научно-исследовательских и учебных целях

Поскольку применения радиоактивных источников в учебных и научно-исследовательских целях весьма разнообразны, ниже дается лишь краткое описание используемых источников. В исследовательской работе могут применяться практически любые радионуклиды любого уровня активности, поэтому такие источники могут принадлежать к любой категории.

Исследовательские облучатели используются для того, чтобы подвергать биологические и небиологические материалы воздействию излучения различных типов, что позволяет оценивать реакцию изучаемых материалов на различные дозы, мощности дозы и величины энергии

применяемого источника излучения. Такие установки изредка используются в материаловедческих исследованиях и в широких масштабах — в радиобиологических исследованиях. Они также используются для оценки компонентов электроники и спутников.

Радиобиологические исследования предусматривают облучение либо клеток бактерий, дрожжей или млекопитающих различными дозами радиации для оценки эффекта от них, либо животных в целом или участков их тел для оценки зависимости эффекта от дозы. Биологическое облучение также может использоваться в качестве инструмента для проведения других исследований: например, оно может вызывать иммуносупрессию, чтобы можно было оценить трансплантацию. Облучение в исследовательских целях проводится на двух основных типах облучателей: пучковых установках, расположенных в экранированном помещении, и самоэкранированных облучателях со встроенной защитой. Пучковые установки похожи на радиотерапевтические цезиевые или кобальтовые аппараты, но находятся в экранированном помещении научной лаборатории. Они обеспечивают мощность дозы от 1 до 3 Гр/мин на расстоянии 50–80 см. Самоэкранированные облучатели располагаются в специальном лабораторном помещении (см. рис. 42).



РИС. 42. Исследовательские облучатели различных производителей.

Тем не менее в научных исследованиях, как правило, используются источники с низкой активностью и/или коротким периодом полураспада. Часто применяются источники на основе трития (^3H) и ^{14}C , но они испускают слабое бета-излучение и, соответственно, несут менее серьезную потенциальную радиологическую угрозу, особенно по окончании срока службы. Многие такие источники используются в электроннозахватных устройствах и устройствах для газовой хроматографии и мессбауэровской спектроскопии. Заметным исключением является использование мощных (до 1 ПБк) источников ^{60}Co и ^{137}Cs для облучения или стерилизации. Хотя некоторые облучательные установки могут по масштабам сравниться с промышленными, большинство из них — это стационарные самоэкранированные установки, предусматривающие помещение образцов в облучательную камеру.

Научные исследования часто проводятся в рамках дипломной работы студента или по специально финансируемому контракту. Оборудование, включая радиоактивные источники, может быть специально получено под конкретный проект. По завершении работы или после прекращения финансирования для источников может не найтись применения в ближайшее время или в будущем, а ответственное за проект лицо может покинуть организацию. Во многих случаях источники помещаются на хранение, но в организации может не найтись конкретного «хозяина», который мог бы взять на себя ответственность за них. Поэтому главная проблема с источниками, используемыми в исследовательских или учебных целях, возникает, когда прекращается использование оборудования и компетентный персонал покидает организацию.

4.6.3. Использование в военных целях

В большинстве стран использование радиоактивных источников в военных целях находится вне рамок обычного гражданского регулирующего контроля. По этой и другим причинам использование радиоактивных источников в военных целях требует отдельного рассмотрения. Источники, используемые в военных целях, могут относиться к самым разным категориям. Хотя многие из применений аналогичны применениям в медицине, промышленности и образовании, некоторые являются специфическими для военной области или предполагают использование источников со значительно большей активностью по сравнению с сопоставимыми устройствами невоенного назначения. Примеры использования источников в военных целях:

- радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ);
- источники для учений по отработке действий, связанных с нанесением ядерного удара;
- технические материалы (ториевые сплавы) и газовые лампы;
- газовые детекторы;
- тритий и ^{226}Ra в светящихся устройствах (с более высокой активностью, чем в гражданской сфере).

Возможно, что у военных имеется, по соображениям безопасности, свой реестр источников, отличный от обычного национального. Поэтому для оценки ситуации необходимо будет непосредственно консультироваться с военными органами.

4.7. МАССА И РАЗМЕРЫ ТИПИЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Масса и размеры типичных устройств, в которых имеются ЗРИ, приведены в таблице 5.

ТАБЛИЦА 5. МАССА И РАЗМЕРЫ НЕКОТОРЫХ ТИПИЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Устройство	Категория	Типичная масса	Типичные размеры	Примечания
Промышленная стерилизационная установка	1	н. п.	Здание 100 м × 200 м × 50 м	
Аппарат дистанционной лучевой терапии	1	500–1000 кг	4 м в длину × 2 м в ширину × 3 м в высоту	
Облучатель крови	1	1500–3500 кг	1 м в длину × 1 м в ширину × 1,5 м в высоту	
Аппарат для многолучевой телетерапии (гамма-нож)	1	20 000 кг	4–5 м в длину × 2 м в ширину × 2,5 м в высоту	Экранированное устройство
Малогабаритный облучатель образцов	1	1000–6000 кг	1,5 м в длину × 1,5 м в ширину × 2 м в высоту	

ТАБЛИЦА 5. МАССА И РАЗМЕРЫ НЕКОТОРЫХ ТИПИЧНЫХ УСТРОЙСТВ (продолж.)

Устройство	Категория	Типичная масса	Типичные размеры	Примечания
Облучатель семян	1	Камера (демонтированная) 3000–6000 кг	1,5 м в длину × 1,5 м в ширину × 2 м в высоту	Может монтироваться на транспортные средства
Радиоизотопные термоэлектрические генераторы	1	500–1000 кг	1,5 м в длину × 1,5 м в ширину × 1,5 м в высоту	За исключением кардиостимуляторов
Пробка с источником гамма-излучения, используемая при каротаже нефтяных скважин	2	500–1000 г	20–60 мм в диаметре × 100–150 мм в длину	
Резьбовая пробка, используемая при нейтронном каротаже нефтяных скважин	2	400–1000 г	20–60 мм в диаметре × 100–200 мм в длину	
Излучатель для гамма-радиографии	2	8–35 кг	350 мм в длину × 200 мм в ширину × 240 мм в высоту	Используются источники Ir-192, Se-75
Устройство для замены источника гамма-излучения	2	40 кг	250 мм в длину × 210 мм в ширину × 340 мм в высоту	Устройство для замены источника
Излучатель для гамма- радиографии (Co-60)	2	100–200 кг	900 мм в длину × 900 мм в ширину × 900 мм в высоту	Полупортативное устройство на основе ⁶⁰ Co
Внутритрубный дефектоскоп для гамма-радиографии	2	50–100 кг	800–1500 мм в длину × 400 мм в ширину × 400 мм в высоту	
Высокоэнергетические гамма-плотномеры, толщиномеры и уровнемеры	3	20–400 кг	200–400 мм в диаметре, 300–700 мм в длину	
Низкоэнергетические гамма-плотномеры, толщиномеры и уровнемеры	3	20–50 кг	200–400 мм в диаметре, 300–700 мм в длину	
Бета-измерители плотности и толщины	4	10–20 кг	100–300 мм в длину × 100–300 мм в ширину × 100–300 мм в высоту	
Устройство для измерения влажности сыпучих материалов	3	10–1000 кг	300–1000 мм в длину × 300–500 мм в ширину × 300–500 мм в высоту	

ТАБЛИЦА 5. МАССА И РАЗМЕРЫ НЕКОТОРЫХ ТИПИЧНЫХ УСТРОЙСТВ (продолж.)

Устройство	Категория	Типичная масса	Типичные размеры	Примечания
Измеритель влажности/ плотности почвы	4	30 кг	200 мм в длину × 300 мм в ширину × 1000 мм в высоту	
Рентгенофлюоресцентный анализатор	5	Ручной: 2 кг Лабораторный и технологический: 20–100 кг	Ручной: 200 мм в длину × 100 мм в ширину × 100 мм в высоту Лабораторный и технологический: 500 мм в длину × 500 мм в ширину × 1500 мм в высоту	
Аппарат для брахитерапии	2	50–250 кг	300–600 мм в длину × 300–600 мм в ширину × 800–1500 мм в высоту	
Нейтрализатор статического электричества	4	В форме брусков: до 2 кг Соплового типа: до 500 г	В форме брусков: до 2000 мм в длину × 30 мм в ширину × 10 мм в высоту Соплового типа: 30 мм в диаметре, 80 мм в длину	
Радиоактивный молниеотвод	5	2–10 кг	100–300 мм в диаметре, 500–1000 мм в длину	
Светящийся знак	5	1–10 кг	До 600 мм в длину × до 200 мм в ширину × до 100 мм в высоту	
Дымовой пожарный извещатель	5	100–300 г	100–150 мм в диаметре, 15–30 мм в высоту	

5. ПРИНЦИПЫ ОБРАЩЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К НЕМУ

Предпочтительным вариантом обращения с изъятymi из употребления закрытыми источниками является их переработка для дальнейшего использования. Если это невозможно, предпочтительным вариантом обращения с изъятymi из употребления закрытыми источниками (а для отработавших источников — обязательным) является возврат источника поставщику. Если в дальнейшем использование источника не планируется и его нельзя иным образом освободить от регулирующего контроля, единственным рациональным вариантом, рассчитанным на долгосрочную перспективу, является захоронение источника. Таким образом, изъятые из употребления источники, для которых не существует вариантов переработки или возврата в страну происхождения, должны объявляться радиоактивными отходами, и обращение с ними должно осуществляться соответствующим образом согласно применимым международно-правовым документам, нормам безопасности и положительным практикам.

МАГАТЭ выпустило ряд публикаций, касающихся ответственности за обеспечение безопасности в рамках правовой и государственной инфраструктуры обеспечения безопасности источников в его государствах-членах:

- в публикации категории «Основы безопасности» под названием «Основополагающие принципы безопасности» [28] изложены задачи, концепции и принципы защиты и безопасности и заложены основы требований безопасности МАГАТЭ, включая обязанность правительства создать правовую базу обеспечения безопасности для организации регулирующего контроля за деятельностью, связанной с источниками излучения;
- в ОНБ, документ № GSR Part 3 [11], определены требования к ответственным сторонам, в частности к зарегистрированным лицам, лицензиатам и работодателям, по введению системы контроля за источниками излучения для обеспечения их безопасности;
- в «Государственной, правовой и регулирующей основе обеспечения безопасности», документ № GSR Part 1 [29], описаны основные аспекты государственной и правовой основы для создания регулирующего органа и принятия других мер, необходимых для обеспечения эффективного регулирующего контроля;
- Кодекс поведения [14] содержит руководящие принципы, позволяющие государствам-членам обеспечить и поддерживать высокий уровень безопасности и сохранности радиоактивных источников. Важным элементом Кодекса поведения является то, что государства-члены должны обеспечить организацию безопасного обращения с радиоактивными источниками и их надежной защиты после того, как они будут изъяты из употребления;
- В руководстве по безопасности «Safety of Radiation Generators and Sealed Radioactive Sources» («Безопасность генераторов излучения и закрытых радиоактивных источников») [30] даются руководящие указания, касающиеся ответственности за безопасность в рамках правовой и государственной инфраструктуры, методик проведения оценок безопасности и конкретных мер по проектированию и эксплуатации источника излучения для обеспечения безопасности в течение всего срока его службы;
- в руководстве по безопасности «Regulatory Control of Radioactive Sources» («Регулирующий контроль радиоактивных источников») [31] даются руководящие указания по внедрению национальной регулирующей инфраструктуры, необходимой для достижения надлежащего уровня защиты и безопасности источников излучения в медицине, промышленности, сельском хозяйстве, научных исследованиях и образовании.

Как следует из вышеупомянутых норм и руководств по безопасности, для обеспечения безопасного обращения с изъятymi из употребления радиоактивными источниками в национальной системе должны иметься следующие элементы:

- набор продуманных целей в области безопасности, радиологической защиты и охраны окружающей среды, на основе которых могут быть разработаны нормы и критерии системы регулирующего контроля;
- идентификация всех сторон, участвующих в различных этапах обращения с изъятыми из употребления источниками, и определение их обязанностей;
- идентификация источников, уже изъятых из употребления или намеченных к изъятию (национальный реестр);
- ресурсы (финансирование, технические возможности, штаты, аттестация и подготовка персонала);
- система управления;
- информационная работа с населением.

5.1. РЕГУЛИРУЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Независимо от типа процесса обращения с изъятыми из употребления источниками, он должен осуществляться в соответствии с национальными основами регулирования и лицензирования и с соблюдением международных рекомендаций. Важно, чтобы государства-члены разработали соответствующие меры регулирования практики обращения, кондиционирования, перевозки, хранения и захоронения на национальном уровне. Для осуществления всех этих видов деятельности обычно требуются лицензии на эксплуатацию, в которых определен объем операций, пределы владения радиоактивными материалами и любые особые условия, которые должны соблюдаться [32]. В рамках системы управления, которая сама может быть частью лицензионных требований, необходимо определить юридические требования к ведению учетной документации.

В большинстве стран существуют определенные законодательные и нормативные акты, регулирующие радиационную защиту и безопасность радиоактивных источников. Отдельных законов, касающихся обращения с изъятыми из употребления источниками, нет, однако положения об этом обычно включаются в законодательство о радиационной защите или обращении с отходами. Если будет определено, что необходимы новые или дополнительные законы, следует проявить осторожность, чтобы не допустить принятия дублирующих или противоречащих друг другу требований по радиационной защите и безопасности.

Не все общие требования могут быть необходимы или уместны в конкретных обстоятельствах. Государство-член должно решить, в какой степени эти требования применимы к той или иной ситуации. Кроме того, у задействованных в этом организаций может быть иная структура или название. Для обеспечения соблюдения требований важно отличать нормативную сторону работы от аспектов, связанных с эксплуатацией.

Регулирующий контроль источников на протяжении всего их жизненного цикла обеспечит непрерывность контроля и после прекращения эксплуатации источников, когда вырастает риск их утраты. Собранная в рамках системы регулирования информация может также быть полезна для прогнозирования количества и типов источников, которые выводятся из эксплуатации, чтобы точнее определить будущие требования к системе организации захоронения.

5.2. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Важной законодательной концепцией является идея о том, что основная ответственность за обеспечение радиационной безопасности лежит на тех, кому разрешено иметь, а также использовать, производить, поставлять или устанавливать источники излучения. «Основная ответственность за обеспечение безопасности возлагается на эксплуатирующую организацию» ([31], п. 2.3).

Для осуществления всех (кроме исключений) видов практической деятельности, для которых недостаточно одного лишь уведомления или регистрации, требуется получение официального

разрешения от регулирующего органа посредством лицензирования [11]. В любом случае операторы, использующие закрытый источник, должны приложить к уведомлению и к заявке на получение официального разрешения как минимум информацию, описанную в требованиях 3.32 и 3.33 публикации GS-R-1 [29]. Системы, которые действуют в большинстве государств-членов, уже существовали на момент закупки источников, используемых в настоящее время. Это означает, что на все источники, которые используются в настоящее время, скорее всего распространяется лицензия.

Закрытые источники имеют жизненный цикл, начинающийся изготовлением и заканчивающийся захоронением. Жизненный цикл каждого источника состоит из ряда последовательных этапов, которые показаны на рис. 43. На протяжении жизненного цикла источника к нему может иметь отношение ряд представителей различных организаций, таких как регулирующий орган, производитель источника, производитель устройства, дистрибьютор, пользователь(и) (один или последующие пользователи), организация по переработке отходов и оператор пункта хранения и/или захоронения. Из-за потенциального участия большого числа организаций и взаимодействия между ними жизненный цикл источника весьма сложен, и зачастую очертить его бывает непросто.

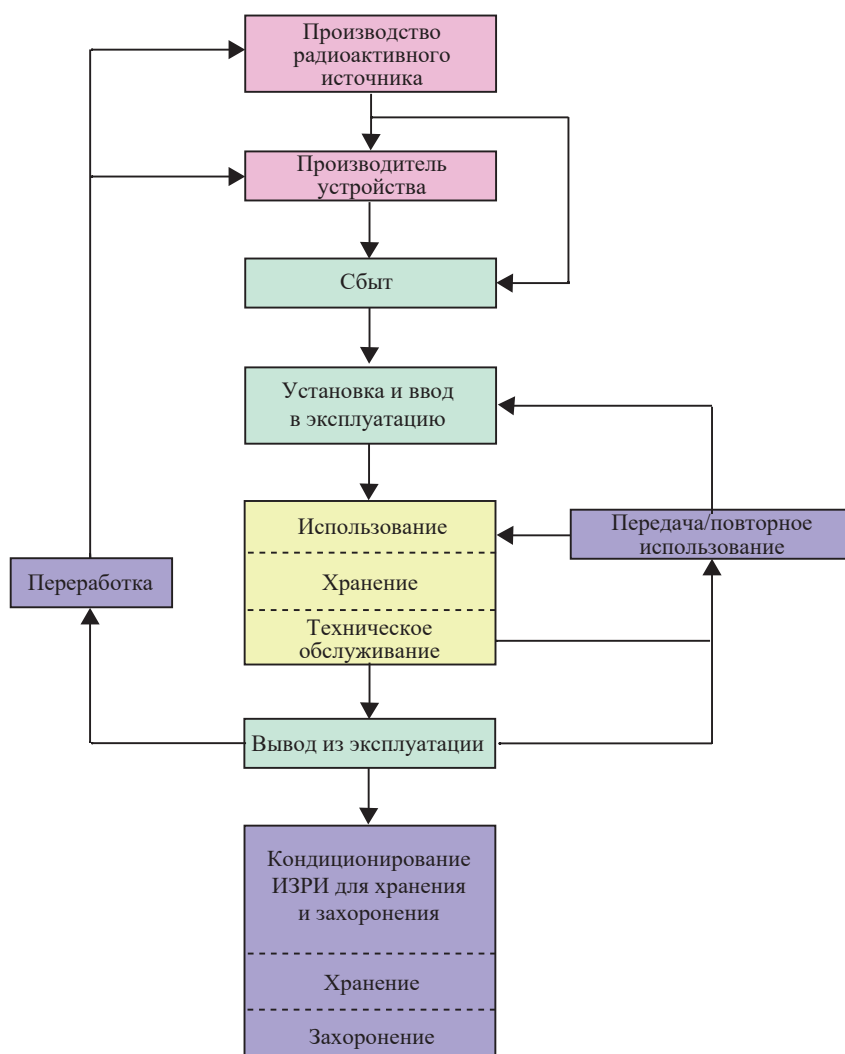


РИС. 43. Жизненный цикл радиоактивного источника.

Крайне важно, чтобы на протяжении всего жизненного цикла ЗРИ была обеспечена индивидуальная и групповая защита от случайного радиационного облучения и минимизирован риск злоумышленного использования источников.

5.2.1. Производитель источника

Производитель источника обычно принимает право собственности на радиоактивный материал в момент его доставки с предприятия по производству радиоизотопов. После этого производитель источников несет юридическую ответственность за безопасное обращение с радиоактивным материалом, находящимся в его распоряжении, и за последующую передачу права собственности.

Производитель источника обязан предоставить пользователю и регулирующему органу сертификат источника, содержащий полную информацию об источнике, такую как модель и серийный номер, радионуклид, активность, дата калибровки, тип капсулы, номер сертификата для источников особого вида и информация о производителе. При передаче информации о конкретном источнике эти сведения крайне важны для соблюдения требований по обращению с источниками после их изъятия из употребления.

5.2.2. Производитель устройства/оборудования

Производитель устройства/оборудования предоставляет оборудование, в которое загружается источник, перед отправкой на объект пользователя или после монтажа.

От производителя устройства требуется соблюдение национальных и международных норм безопасности оборудования, включая наличие проекта, одобренного соответствующим регулирующим органом. Кроме того, нормативные требования обязывают производителя оборудования предоставить пользователю всю информацию, необходимую для безопасной и правильной эксплуатации и обслуживания оборудования. Сюда входит вся соответствующая информация об источнике и порядке его перевозки, в том числе о средствах обеспечения безопасного состояния источника, защитных блокировках и аварийной готовности.

В случае применения высокоактивных радиоактивных источников, например в аппаратах дистанционной лучевой терапии, производитель оборудования обязан предоставлять технические услуги, связанные с периодической перегрузкой радиоактивных источников.

5.2.3. Дистрибьютор

Дистрибьютор, уполномоченный регулирующим органом, отвечает за выполнение некоторых операций по перевозке и поставке в соответствии с международным законодательством о перевозке радиоактивных материалов. Кроме того, в сферу его ответственности может входить проверка полномочий грузополучателя (лица или организации) на владение радиоактивным материалом в соответствии с национальными правилами и применимыми требованиями к уведомлениям.

Производитель источника/оборудования (который в зависимости от условий поставки может продолжать владеть источником во время перевозки) и дистрибьютор несут общую ответственность в ходе операций по перевозке и поставке.

5.2.4. Пользователь

Пользователь источника обычно принимает право собственности на материал источника в момент его доставки от дистрибьютора. Пользователи (зарегистрированные лица и лицензиаты) несут ответственность за введение в действие и осуществление технических и организационных мер, необходимых для обеспечения безопасности и сохранности источников. В соответствии со

всеми применимыми законами и лицензиями пользователь несет юридическую ответственность за безопасное обращение с радиоактивным материалом, а также за последующую передачу права собственности на него. Обычно по условиям лицензии пользователь должен хранить в надежном месте копию сертификата источника, предоставленного производителем источника. Пользователю необходимо сохранять всю техническую информацию об оборудовании, предоставленную производителем оборудования, хотя лицензия обычно не требует этого.

Когда срок службы источника подходит к концу, после непродолжительного хранения на объекте он перевозится в другое место, где может быть обеспечено его долгосрочное хранение или захоронение. Затем право собственности передается другой стороне, например производителю источника или центральной организации по обращению с радиоактивными отходами (ЦООРО). Если до официальной передачи права собственности источник хранится у пользователя (временное хранение), то ответственность за обеспечение безопасности и сохранности во время такого промежуточного хранения источника лежит на пользователе.

5.2.5. Центральная организация по обращению с радиоактивными отходами

ЦООРО занимается обработкой, кондиционированием и хранением источников, ранее использовавшихся в различных областях по всей стране. Она несет юридическую ответственность за безопасное и надежное кондиционирование и хранение источников, находящихся в ее собственности, и обычно работает по лицензии, выданной регулирующим органом. Эта ответственность заканчивается, когда степень распада источника позволяет утилизировать его как неопасный материал или когда источник законно передается другой организации, например на пункт захоронения. Лицензия требует, чтобы ЦООРО вела актуальную инвентаризационную опись всех источников, находящихся в ее распоряжении, включающую все конкретные данные, предоставленные производителем источника.

Если лицензиат неспособен обращаться с изъятыми из употребления источниками, лицензия отозвана или лицензиата больше не существует, то по просьбе регулирующего органа ответственность за общее обращение с изъятыми из употребления источниками может взять на себя ЦООРО.

В крупных странах вместо одной ЦООРО может существовать несколько региональных эксплуатационных организаций, наделенных теми же функциями.

5.2.6. Пункт захоронения

Пункт захоронения отходов несет юридическую ответственность за все виды принимаемых на захоронение радиоактивных отходов, включая ИЗРИ. В большинстве стран он представляет собой централизованный объект, предоставляющий услуги по захоронению ИЗРИ, поступающих от всех пользователей в стране. На территории пункта захоронения могут выполняться некоторые операции по кондиционированию и сопутствующие операции; в этом случае его лицензия на эксплуатацию должна охватывать также и эти виды деятельности и установки, если таковые имеются.

5.3. РЕЕСТР ЗАКРЫТЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

При обращении с ИЗРИ особого внимания требует обеспечение надлежащего контроля за закрытыми источниками после того, как их изъяли из употребления. Для этого необходимо отслеживать источник в течение всего его жизненного цикла, принять обязательства по его утилизации еще до импорта, а также разработать и реализовать план безопасного обращения с источником после того, как он будет объявлен изъятым из употребления.

В Кодексе поведения [13] национальным регулирующим органам рекомендуется составить и вести *национальный реестр* некоторых ЗРИ. Как указано в п. 11 Кодекса поведения, этот реестр должен включать как минимум радиоактивные источники категорий 1 и 2. В целях облегчения обмена информацией о радиоактивных источниках между государствами-членами важно, чтобы они старались гармонизировать форматы своих реестров.

Лицензиат должен создать *систему ведения реестра для отслеживания всех источников, находящихся в собственности пользователей*, и согласовать ее с системой ведения национального реестра. Система должна быть разработана таким образом, чтобы обеспечить легкий доступ и извлечение данных, а также их надежную защиту. Допускается ведение реестра в разных формах: от системы с ручными операциями (например, картотеки) до компьютеризированной базы данных. Лицензиат обязан уведомлять регулирующий орган обо всех значительных изменениях в сведениях, содержащихся в системе ведения учета. Лицензиат должен обеспечить наличие процедуры регулярного информирования регулирующего органа о состоянии источников и передачи необходимой отчетной информации.

Система ведения реестра источников должна содержать по меньшей мере следующую информацию [30]:

- a) серийный номер или уникальный идентификатор;
- b) артикул изделия изготовителя и указание на то, где можно найти данные о производстве;
- c) радионуклид (символ элемента и изотопное число);
- d) активность на указанную дату;
- e) физическая форма;
- f) физические и химические свойства, включая основные виды излучения (альфа, бета, гамма, n);
- g) местонахождение источника;
- h) подробные сведения об устройстве или оборудовании, с которым используется источник, если это не очевидно из указанной выше информации и если это необходимо для обеспечения безопасности;
- i) при необходимости — история использования источника (например, журнал операций по обращению с источником);
- j) подробные сведения о получении, передаче или захоронении источника.

5.4. ПЕРЕВОД ИСТОЧНИКОВ В КАТЕГОРИЮ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ

Существует несколько причин, по которым радиоактивные источники могут быть изъяты из употребления. Ниже более подробно рассматриваются некоторые основные причины, по которым источник может быть признан изъятым из употребления или отработавшим.

5.4.1. Спад активности

У всех ЗРИ есть минимальный уровень активности, ниже которого источник больше не может использоваться по назначению и поэтому считается отработавшим (изъятым из употребления). В большинстве случаев источник необходимо менять, когда его начальная активность снижается на определенную величину, зависящую от конкретного применения. Источники для промышленной радиографии, содержащие ^{192}Ir , период полураспада которого составляет всего 74 дня, из-за радиоактивного распада обычно считаются отработавшими через два-три месяца после приобретения, в то время как источники на ^{60}Co , используемые для промышленной радиографии либо для телетерапии, необходимо заменять каждые 5–10 лет. Срок службы источников для промышленных облучателей на ^{60}Co может составлять 15–20 лет. Эти источники обычно остаются в эксплуатации до тех пор, пока их активность не снизится до

10–15% от первоначального значения. Отрабатывшие источники могут быть уже непригодны для использования по первоначальному назначению, но при этом оставаться высокоактивными, представляя потенциальную радиационную опасность для людей и окружающей среды даже по истечении нескольких периодов полураспада.

5.4.2. Разгерметизация или повреждение

В случае разгерметизации или физического повреждения (например, появления вмятин, коррозии, трещин или глубоких царапин) источники объявляются изъятыми из употребления, немедленно выводятся из эксплуатации и впоследствии рассматриваются как радиоактивные отходы.

5.4.3. Устаревшее оборудование

Срок службы любого оборудования (устройства) рано или поздно заканчивается. Хотя источник еще может сохранять достаточную активность, оборудование может стать неремонтопригодным (например, влагомеры/плотномеры с устаревшей электроникой). Источник, связанный с устаревшим оборудованием, рассматривается как изъятый из употребления радиоактивный источник.

5.4.4. Альтернативные технологии

ЗРИ обычно изготавливаются для выполнения определенной функции. Это может быть лечение опухоли, оценка качества сварного шва, контроль промышленных процессов или стерилизация одноразовых медицинских изделий. Источник дает ионизирующее излучение, необходимое для данного процесса. Даже если источник по-прежнему обеспечивает требуемую мощность излучения, может морально устареть сам процесс — ввиду разработки альтернативных процедур для достижения желаемых результатов. По мере возможности и пользователи, и производители переходят к технологиям, не требующим использования радиоактивных источников, например:

- замена ^{241}Am в ионизационных дымовых пожарных извещателях на оптические устройства;
- переход на детекторы рентгеновского излучения в системах управления технологическим процессом, особенно в тех, где требуется ^{241}Am и ^{244}Cm ;
- использование ультразвуковых методов измерения плотности и уровня вместо ^{137}Cs ;
- использование линейных ускорителей вместо телетерапии на ^{60}Co .

Альтернативная методика может предполагать использование источника другого типа, с которым проще работать или который проще утилизировать в конце жизненного цикла⁴. Кроме того, альтернативный подход может предполагать использование более стабильного химического соединения⁵, более низкого уровня радиации, генераторов или ускорителей излучения или частиц (рентгеновский аппарат или линейный ускоритель) вместо радиоактивного материала либо метода, при котором ионизирующее излучение не используется вовсе.

5.4.5. Смена приоритетов

Закрытый источник считается изъятым из употребления, если эксперимент или программа, в которых использовался тот или иной источник, завершены или прекращены. Некоторые компании

⁴ Например, ^{137}Cs вместо ^{226}Ra для лучевой терапии и ^{192}Ir вместо ^{137}Cs для промышленной радиографии.

⁵ Например, ^{137}Cs в остеклованной или керамической форме вместо CsCl .

или организации могут сменить сферу деятельности или свернуть исследовательские программы, в результате чего источники становятся ненужными. Такие источники считаются изъятыми из употребления, а право собственности на них впоследствии передается уполномоченной организации для возможного повторного использования, кондиционирования, хранения или захоронения.

5.4.6. Бесхозные источники

Бесхозный источник — это радиоактивный источник, который не находится под регулирующим контролем по той причине, что он либо никогда не находился под регулирующим контролем, либо был оставлен без присмотра, утерян, помещен в ненадлежащее место, похищен или иным образом передан без надлежащего официального разрешения [1, 14]. Наличие бесхозных источников может привести к серьезным последствиям для окружающей среды и здоровья населения. Необходимо срочно принимать меры (например, делать оповещение, вести поиск). Когда источник найден, перед дальнейшим обращением с ним его необходимо проверить и испытать на герметичность. Кроме того, источники, обнаруженные третьей стороной и идентифицированные как радиоактивные, но без установления законного владельца, считаются изъятыми из употребления.

5.5. ФИНАНСИРОВАНИЕ

Главные стороны⁶ должны убедиться, что «внедрены финансовые положения в соответствии с регулирующими требованиями по безопасному обращению с изъятыми из употребления источниками» [32]. Государству-члену необходимо обеспечить соответствующее финансирование практики или пункта обращения с отходами и создание механизма финансирования.

Поскольку захоронение ИЗРИ, скорее всего, будет происходить спустя несколько десятилетий или даже позднее (возможно, после того, как предприятия, откуда поступают изъятые из употребления источники, прекратят свое существование), целесообразно аккумулировать финансовые ресурсы, которые потребуются для будущих операций, пока пользователи еще не прекратили свою деятельность. В государствах-членах используются различные финансовые системы для обеспечения наличия в долгосрочном плане финансовых ресурсов для вывода из эксплуатации и захоронения. Двумя наиболее распространенными механизмами финансирования являются фонды и резервы. Финансовыми ресурсами обычно управляют организации, которые не зависят от производителей отходов. В некоторых странах обращение с радиоактивными отходами гарантированно финансируется из национального бюджета.

5.5.1. Распределение затрат

Все стороны, владеющие радиоактивным материалом в процессе производства, перевозки, применения, кондиционирования и хранения источников, обычно передают право собственности на материал другой стороне. Затраты на обращение с изъятыми из употребления источниками, которые могут быть весьма значительными, особенно в случае высокоактивных источников (категорий 1 и 2) и источников, содержащих долгоживущие радионуклиды, обычно несут конечные пользователи источников. Затраты на транспортные контейнеры и на саму перевозку также перекладываются на пользователя в виде затрат на источники и их замену. Эти расходы, необходимые для выполнения требований законодательства и безопасности, становятся для пользователя дополнительными издержками. При этом государство-член обязано

⁶ В ОНБ [11] говорится: «Главными сторонами, несущими основную ответственность за применение Норм, являются: а) зарегистрированные лица или лицензиаты; б) работодатели».

выделять государственные средства в случае бесхозных источников, когда информация о праве собственности утрачена или когда на первом месте стоят интересы общественной безопасности. В случае, если владелец установки становится неплатежеспособным или установка закрывается по причине прекращения ее эксплуатации, войны, стихийного бедствия и т. д., предполагаемый метод финансирования передачи прав собственности на источник может оказаться недоступным. В этом случае могут быть задействованы страховые или чрезвычайные фонды государственных учреждений; в противном случае расходы на передачу права собственности должны будут взять на себя другие учреждения, которые, возможно, сами не получали пользу от приобретения данного источника. В конечном итоге материал попадет в ЦОРО, где он либо распадется до безопасного уровня, либо будет храниться до передачи на пункт захоронения.

Затраты на владение радиоактивным материалом и его передачу во время производства и замены закрытого источника отражаются в закупочной цене оригинального и заменяемого источников, поскольку обычно производитель возмещает свои затраты именно таким образом.

По условиям замены источника производитель обычно забирает отработавший источник. Вместе с тем, когда объект окончательно выводится из эксплуатации, передача права собственности на конечный источник, установленный в оборудовании, и самого источника должна рассматриваться как часть затрат пользователя, связанных с возвращением установки в общее пользование. Общие затраты на владение и передачу являются, по сути, компонентом общих затрат пользователя на предоставление услуги, для которой был приобретен источник. Услуги, в которых используются высокоактивные источники, включают промышленную радиографию, облучение материалов, стерилизацию и лечение рака.

5.5.2. Неопределенность уровня затрат

Согласно регулирующим требованиям, затраты на лицензирование и эксплуатацию несут как пользователь, так и производитель источника. Регулирующие органы выдают лицензии установкам, работающим с радиоактивными материалами, и проводят инспекции, и по крайней мере часть затрат на эту деятельность перекладывается на лицензиата в виде лицензионных сборов. Затраты на лицензирование регулирующими органами для облучательной установки и производителя источника обычно включаются в цену источника(ов), поставляемого(ых) пользователю, и затраты пользователя становятся операционными расходами, которые он несет в период эксплуатации источника. Затраты на лицензирование транспортных упаковок и затраты на перевозку также перекладываются на пользователя в виде затрат на источники и их замену. Эти расходы, необходимые для выполнения требований законодательства и безопасности, становятся дополнительными издержками для пользователя.

Ставки расходов на обращение, кондиционирование и хранение обычно устанавливаются ЦОРО на реалистичном уровне, чтобы не нанести ущерба мерам безопасности. Чрезмерно высокие расходы могут заставить операторов действовать неправомерным образом: они могут оставлять источники без присмотра или незаконно утилизировать их. Определить точную стоимость кондиционирования и хранения ЗРИ невозможно, но ее можно примерно оценить. Для безопасного обращения с изъятыми из употребления источниками обязательно наличие достаточных средств на строительство и эксплуатацию пунктов кондиционирования и хранения. Необходимо предусмотреть также дополнительные затраты на восстановление источников. Затраты на долгосрочное хранение перед захоронением и на само захоронение являются существенной статьей любой сметы расходов.

5.5.3. Отсутствие схемы передачи права собственности

На момент вывода оборудования из эксплуатации производитель или дистрибьютор первоначального источника может уже не работать или может не иметь возможности забрать источник из-за старости или плохого состояния оборудования или изменений в действующих

правилах. Если перевозка в ЦОРО не представляется возможной, то пользователю необходимо будет надежно и безопасно хранить источник до тех пор, пока не появится подходящий вариант действий. Продление срока хранения едва ли потребует больших ежегодных затрат, однако оно повлечет за собой затраты на оплату труда и обслуживание. Время хранения источника может превысить время, в течение которого может быть обеспечено его безопасное и надежное хранение на установке, и даже срок службы самой установки. Необходимо запросить и получить новое (другое) разрешение (лицензию) на хранение ИЗРИ у регулирующего органа. В таких ситуациях затраты на владение источником и его передачу откладываются из-за временного хранения, но не отменяются.

5.6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

На каждом объекте, где осуществляется эксплуатация источников или обращение с ними как с изъятыми из употребления, должны быть созданы и поддерживаться соответствующие технические возможности. К таким возможностям относится сама установка, соответствующее оборудование и техническая компетентность персонала. Приобретение и эксплуатация установок и оборудования должны быть соразмерны имеющимся техническим возможностям для обеспечения эффективной и безопасной работы. Работа с изъятыми из употребления источниками должна вестись как на объекте пользователя, так и в центральной организации по обращению с отходами, где закрытые источники обрабатываются и хранятся в ожидании окончательного захоронения.

5.6.1. Объект пользователя

Каждый пользователь должен обладать техническими возможностями для сбора, обработки, характеристики, разделения и безопасного краткосрочного хранения источников, находящихся в его распоряжении. Если кондиционирование и хранение изъятого из употребления источника поручается операторам централизованных пунктов кондиционирования и хранения, то пользователю необязательно знать подробности последующего обращения с ним, однако пользователь должен быть проинформирован о последующих шагах по обращению с источником, чтобы знать, необходимо ли надлежащее разделение или классификация источников во время сбора. Кроме того, это важно для того, чтобы исключить возможность обработки источника пользователем каким-либо образом, который сделает будущие процедуры обращения с отходами более сложными, дорогостоящими или сопряженными с неоправданными дополнительными рисками.

5.6.2. ЦОРО

Поскольку наиболее сложные технические операции (кондиционирование и хранение) выполняются в ЦОРО, она должна быть обеспечена всем необходимым оборудованием, инструментами и приборами в зависимости от возложенных на нее задач и характеристик изъятых из употребления источников, принятых на переработку. Требования к техническому оборудованию и некоторые его примеры, используемые в ЦОРО, приведены в нижеследующих разделах 7–10.

5.6.3. Пункт захоронения

Пункт захоронения принимает ИЗРИ для захоронения и поэтому должен быть оснащен надлежащим подъемно-транспортным оборудованием. Проект пункта захоронения может предусматривать различные инженерно-технические барьеры. Необходимо принять определенные

меры для обеспечения соответствия свойств инженерно-технических барьеров проектному замыслу. В случае осуществления ведомственного контроля должна быть обеспечена его устойчивость. Требования к проектированию пункта захоронения описаны в разделе 12.

5.7. ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Процедуры обработки и кондиционирования должны осуществляться квалифицированным персоналом, обладающим соответствующими техническими знаниями, практическим опытом и самодисциплиной, несущим ответственность за высокое качество работы. Кроме того, требуется знание конструкции, устройства и схемы монтажа источника в устройстве, а также конструкции и принципа работы самого устройства, особенно при извлечении из него источника. Поскольку эта работа часто предполагает интенсивный физический труд, важно, чтобы персонал, участвующий в ней, находился в хорошей физической форме.

Регламентировать численность и квалификацию работников, необходимых для выполнения различных операций по обращению с ИЗРИ, невозможно. Общие рекомендации МАГАТЭ по квалификации персонала, рекомендуемой для радиологических работ, таких как работы по кондиционированию [15], изложены в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6. КВАЛИФИКАЦИЯ И ОПЫТ ПЕРСОНАЛА [15]

Персонал	Квалификация/опыт ^a
Руководитель работ	Лицо с соответствующим техническим образованием, имеющее опыт обращения с ИЗРИ
Сотрудник/инспектор по радиационной защите	Опыт применения процедур и правил радиационной защиты ^b
Прораб	Опыт в области применения выбранных методов кондиционирования, операций кондиционирования и контроля качества ^c
Квалифицированный оператор	Практический опыт обращения с радиоактивными материалами ^c

^a При необходимости должны быть организованы программы обучения.

^b Персонал радиационной защиты должен иметь опыт работы с ЗРИ тех типов и уровней активности, которые подлежат кондиционированию. Если есть такая возможность, желательно иметь опыт работы с конкретными устройствами, из которых извлекаются источники, но требуется как минимум опыт работы с аналогичными источниками и устройствами.

^c Операторы, которые будут извлекать источники из устройств, должны пройти подготовку по работе со всеми инструментами и оборудованием, подлежащими извлечению, и иметь соответствующий опыт, а также, по возможности, практический опыт работы с конкретными устройствами, из которых будут извлекаться источники. Это особенно важно, когда планируется кондиционирование высокоактивных источников или удаление источников, установленных в контрольно-измерительных приборах или других устройствах.

В отличие от общих мероприятий по радиационной защите, обращение с источниками предполагает работу с радиоактивным материалом более высокой активности и концентрации в конфигурациях, в которых в случае ненадлежащего или незапланированного действия возникает риск получения высоких доз облучения и сильного рассеяния радиоактивного материала. Это нужно учитывать при признании тех или иных работников квалифицированными для выполнения этих операций.

При обучении операторов и специалистов по радиационной защите обращению с источниками и их кондиционированию должны учитываться особенности отдельных типов устройств, с которыми они будут иметь дело, и подлежащих кондиционированию источников, и, если это возможно и необходимо, работа должна опираться на документ, определяющий этапы и методы извлечения источника. Желательно, чтобы этот документ был предоставлен производителем устройства, однако возможно также и использование документов, подготовленных персоналом, имеющим опыт выполнения работ. Уровень подготовки и опыт должны быть достаточными для того, чтобы лица, выполняющие работу, понимали виды и уровни радиологических опасностей, возникающих на каждом этапе выполнения работы, различия между однотипными устройствами разных производителей, а также действия, которые следует предпринять в случае возникновения проблемы или нештатной ситуации при выполнении работы. Если требуется персонал службы безопасности (например, во время хранения), то он должен регулярно проходить базовую подготовку по радиационной защите и быть ознакомлен с аварийными процедурами.

Регулирующий орган обычно не несет ответственности за выполнение функций оператора установок для обращения с отходами, однако от регулирующих органов требуется наличие необходимых знаний и опыта для того, чтобы применять законы и нормативные акты и давать четкие руководящие указания и инструкции операторам установок для обращения с отходами.

5.8. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Принцип № 3 Основопологающих принципов безопасности [28] гласит: «Необходимо создать и совершенствовать систему руководства и управления в интересах обеспечения безопасности в организациях, занимающихся радиационными рисками, и на установках и в рамках деятельности, связанных с радиационными рисками. Безопасность должна обеспечиваться и поддерживаться с помощью эффективной системы управления»⁷. Система управления — это комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, устанавливающий политику и цели и позволяющий достичь эти цели безопасным, эффективным и результативным образом. Эта система должна включать в себя все элементы управления, чтобы требования безопасности устанавливались и применялись сообразно с другими требованиями, в том числе требованиями в отношении действий персонала, качества, физической безопасности и экономических аспектов, и чтобы другие требования или запросы не вступали в противоречие с требованиями безопасности. Система управления должна также обеспечивать формирование культуры безопасности, регулярное проведение оценки показателей безопасности и использование уроков, извлеченных из опыта. Она должна быть увязана с целями организации и способствовать их достижению.

Общие требования к системе управления закреплены в Требованиях безопасности «Система управления для установок и деятельности» [32] и рекомендациях в сопроводительном руководстве по безопасности «Применение системы управления для установок и деятельности» [33], которое заменяет предыдущий свод положений по обеспечению качества [34]. Руководство по применению системы менеджмента для переработки радиоактивных отходов, обращения с ними и их хранения представлено в [35]. Руководство по применению системы менеджмента для захоронения радиоактивных отходов представлено отдельно в [36]. Основные требования к радиационной защите установлены в [11], а требования к аварийной готовности и реагированию — в [37].

⁷ В настоящее время термин «система управления» используется вместо термина «обеспечение качества». Термин «система управления» отражает и включает эволюцию подхода от первоначальной концепции «контроля качества» (контроль качества продуктов) через «обеспечение качества» (система обеспечения качества продуктов) к «менеджменту качества» (система управления качеством).

5.8.1. Проблемы системы управления

Обращение с ИЗРИ включает в себя целый ряд технических и управленческих мероприятий и может быть весьма продолжительным процессом. Эти особенности создают ряд проблем с точки зрения разработки и применения эффективных систем управления. При разработке системы обращения с ИЗРИ необходимо обратить особое внимание на следующие аспекты:

- a) выделению средств и организации обращения с ИЗРИ может уделяться недостаточно внимания, если они не будут иметь логической связи с выгодами от деятельности, вследствие которой образуются эти источники. Позднее организовать и финансировать необходимую деятельность по обращению с ИЗРИ может быть гораздо сложнее;
- b) безопасное обращение с ИЗРИ можно организовать на временной основе, во многих случаях — в течение длительного периода. В результате из-за ряда кратких переносов сроков для дополнительной оценки вариантов выбор и реализация окончательных решений могут быть отложены;
- c) если метод окончательного захоронения ИЗРИ не выбран, может быть трудно определить предпочтительную форму упаковки ИЗРИ, которая должна быть изготовлена и использоваться во время хранения, а также приемлемую форму упаковки для окончательного захоронения. В такой ситуации при выборе методов кондиционирования необходимо учитывать две проблемы. Во-первых, следует стараться не ограничивать возможности утилизации в будущем (например не производить упаковку для временного хранения, которая непригодна для окончательного захоронения и которую трудно преобразовать в пригодную). Во-вторых, неопределенность в отношении конечной точки не должна служить оправданием для непринятия мер по обеспечению безопасного и экологически приемлемого обращения с ИЗРИ до утилизации.

Системами управления связанной с ИЗРИ деятельностью должно поощряться принятие унифицированных подходов и решений, а также внедрение передовой международной практики ввиду необходимости обеспечения преемственности между поколениями людей, а также неясности в отношении того, что ждет организационные, национальные и международные структуры в долгосрочной перспективе.

5.8.2. Процедуры системы управления

Система управления должна охватывать все действия, осуществляемые для целей обращения с ИЗРИ, независимо от того, являются ли они самостоятельными операциями или являются частью более сложной деятельности [33]. Система управления должна гарантировать, что деятельность (например, кондиционирование) или продукт (например, упаковка ИЗРИ) будет соответствовать всем применимым требованиям и отвечать принципам безопасности. Система управления должна предусматривать принятие мер в случае производства некондиционных упаковок ИЗРИ.

В рамках системы управления должны быть установлены и применяться следующие процедуры:

- a) дифференциация;
- b) документирование и ведение учета;
- c) разработка и контроль процессов;
- d) инспекции и испытания;
- e) закупки;
- f) действия в случае выявления несоответствий и корректирующие меры;
- g) рассмотрение системы управления.

5.8.3. Дифференцированный подход

Организации, участвующие в обращении с ИЗРИ, должны определить относительную важность различных видов деятельности, установок, оборудования и упаковок ИЗРИ с точки зрения соблюдения требований в области безопасности в целом, охраны здоровья, защиты окружающей среды, физической безопасности, качества и экономики, причем первостепенное значение имеют безопасность и защита окружающей среды. Для выделения ресурсов в нужном объеме требования системы управления должны применяться на дифференцированной основе с учетом:

- значения и сложности каждого продукта или вида деятельности;
- опасности и потенциального воздействия (риска), связанного с каждым продуктом и видом деятельности, на безопасность, здоровье, окружающую среду, физическую безопасность, качество и экономические аспекты;
- последствий выпуска некондиционного продукта или неправильного осуществления какого-либо вида деятельности.

Дифференциация предназначена для определения степени контроля, применяемого к предмету, в зависимости от важности выполняемой им функции. Она не должна использоваться как предлог для неприменения всех необходимых элементов системы управления или механизмов контроля качества. Дифференциация означает, что строгость контроля, посредством которого оценивается достаточность такой деятельности, соразмерна важности самой деятельности.

5.8.4. Ведение учета

Деятельность по обращению с ИЗРИ бывает разного масштаба и сложности, может предполагать участие ряда организаций и быть продолжительной (как, например, хранение перед захоронением). Особое внимание следует уделять тому, чтобы документы, используемые при контроле рабочих процессов, оставались в силе, были актуальными, понятными и доступными для различных организаций и в тех ситуациях, в которых они используются и будут использоваться.

Крайне важно вести полную учетную документацию на всех этапах обращения с источниками, чтобы в будущем можно было сверяться с ней. Документируется информация о происхождении и характеристиках источника, применяемых технических процедурах, конструкциях капсул, экранировании, контейнерах, упаковке и транспортных пакетах, а также данные о месте и условиях хранения, включая оценку, инспекции и проверки, относящиеся ко всем видам деятельности. Все эти данные потребуются в дальнейшем для обоснования последующих решений о том, следует ли непосредственно захоронить кондиционированные источники или же восстановить их для соблюдения действующих критериев приемлемости отходов на пункте захоронения.

Ответственные органы, пользователи источников и операторы установок для обращения с отходами обязаны составлять документацию и вести учет в соответствии с юридическими и управленческими требованиями и собственными нуждами. Эти учетные документы должны храниться так, чтобы впоследствии ими могли воспользоваться другие люди, помимо персонала, первоначально участвовавшего в операциях, и, быть может, без ссылок на авторов этих документов. Требования к хранению учетных документов включают, среди прочего, следующее:

- определение статуса учетных документов — постоянные или временные;
- хранение временных учетных документов в течение определенного периода времени;
- бессрочное хранение постоянных учетных документов;
- определение метода хранения учетных документов;
- возможность поиска учетных документов;
- системы и процедуры обеспечения безопасности, исключающие несанкционированное изъятие или изменение учетных документов.

Для сохранения необходимых данных подходят хранящиеся в надлежащих условиях печатные экземпляры, микрофиши, оптические и/или магнитные носители. Для надежности и в целях обеспечения наличия альтернатив необходимо дублировать учетные документы по меньшей мере на двух носителях в двух местах хранения. По мере развития технологии записи информации учетные документы необходимо обновлять и преобразовывать в новый формат.

Каждую упаковку необходимо сопровождать учетными документами об источниках с подробным описанием процесса кондиционирования, применявшейся процедуры кондиционирования и указанием имен специалистов, выполнявших эту операцию. Любые старые учетные документы, найденные после кондиционирования, должны быть присоединены к информации о каждой упаковке отходов. При анализе документации для планирования захоронения могут помочь фотографии.

5.8.5. Разработка и контроль процессов

Система управления должна иметь официальный статус, чтобы гарантировать, что установки для обращения с ИЗРИ спроектированы, построены и эксплуатируются безопасным способом в соответствии с установленными требованиями; полученные упаковки ИЗРИ произведены таким же последовательным образом; требования по приемлемости отходов для перевозки, хранения и захоронения выполняются, равно как и все регулирующие положения и условия лицензии.

Руководство должно признать, что все виды деятельности являются процессами, которые можно планировать, выполнять, оценивать и совершенствовать, учитывая при этом, что каждый человек, выполняющий эту работу, отвечает за ее качество.

Контроль за работой установок для обращения с ИЗРИ включает такие элементы, как контроль и проверка правильности проектирования, независимая экспертиза, сбор данных и контроль программными средствами, спецификации упаковок ИЗРИ, а также контроль закупаемых товаров и услуг. Для обеспечения эффективности работы в рамках функций управления оценивается также:

- эффективность работы и квалификация персонала, а также приемка товаров и услуг;
- контроль рабочих процессов, включая взаимосвязи между процессами образования, извлечения, обработки, хранения и захоронения ИЗРИ;
- операции хранения, манипулирования и перевозки для предотвращения несчастных случаев, порчи контейнеров и обеспечения достоверности аналитических операций;
- контроль упаковок и эксплуатационного состояния ИЗРИ, в том числе некондиционных упаковок и некондиционного эксплуатационного оборудования;
- выявление и контроль узлов, важных для безопасности, включая приемочный контроль и испытания;
- точки инспекционного контроля, наблюдение и технологический контроль;
- определение критически важных областей инспекции;
- контроль измерительного и испытательного оборудования.

5.9. АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ

Если существует вероятность аварий, которые могут привести к незапланированному облучению какого-либо лица (обрабатываемые источники могут выпасть из защитного корпуса или во время работы может произойти утечка радиоактивного материала из источников), оператор должен обеспечить подготовку, наличие и постоянное обновление плана аварийных мероприятий, соразмерного общему количеству источников и связанным с ними рискам. План аварийных мероприятий нужен для того, чтобы определить круг обязанностей на объекте и учесть обязанности других соответствующих организаций за пределами объекта, участвующих в выполнении плана.

Государства-члены также должны обеспечить аварийное планирование и готовность и принять такие меры, которые могут потребоваться при возникновении аварийной ситуации [37–39]. В некоторых случаях существующий в стране потенциал аварийного реагирования достаточно хорошо подходит для обеспечения реагирования на надлежащем уровне (связь, пожарная охрана, управление движением, скорая помощь и медицинские службы). В обязанности операторов и регулирующего органа входит информирование местных властей и персонала организаций аварийного реагирования о любой новой деятельности в их районе. Тогда они будут знать о новой установке и смогут оценить оборудование и предоставляемые услуги. Государство-член может рассмотреть возможность дополнительного финансирования местных организаций аварийного реагирования для удовлетворения любых дополнительных потребностей, которые могут возникнуть. Анализ планов чрезвычайных мер и планов противоаварийных мероприятий — крайне важный элемент планирования работ с закрытыми источниками, предполагающих обращение с источниками.

5.10. СОХРАННОСТЬ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Под понятием «сохранность источника» понимаются меры, имеющие целью предотвратить несанкционированный доступ к радиоактивным источникам, их повреждение, утрату, хищение или несанкционированную передачу [14]. Сохранность источника — залог и важнейший элемент обеспечения его безопасности. Однако несмотря на то, что радиоактивный источник может находиться в сохранности, т. е. содержаться под контролем и быть физически защищенным, это не обязательно означает, что он также безопасен и не причинит вреда людям.

В публикациях Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности № 14 «Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся радиоактивных материалов и связанных с ними установок» [40], дополняющем их практическом руководстве № 11 «Security of Radioactive Sources» («Сохранность радиоактивных источников») [25] и ОНБ [11] установлены требования в сфере сохранности радиоактивных источников, которые дополняют общие требования в сфере радиационной безопасности, применяемые к любому источнику. В ОНБ, в частности, содержится требование о том, чтобы радиоактивные источники хранились в сохранности в целях предотвращения хищения или повреждения, чтобы не допустить утраты контроля над источником, чтобы источник передавался только при наличии у получателя действительного разрешения и чтобы через соответствующие промежутки времени проводилась периодическая инвентаризация мобильных источников для подтверждения того, что они находятся в отведенных для них местах и защищены.

В ответ на глобальную угрозу МАГАТЭ недавно обновило свою стратегию и активизировало деятельность, связанную с сохранностью радиоактивных источников. В данной обновленной стратегии содержится призыв к созданию и укреплению национальных регулирующих инфраструктур для определения местоположения, регистрации, защиты и контроля важных радиоактивных источников в течение всего их жизненного цикла.

Что касается сохранности радиоактивных источников, то признана необходимость баланса между безопасным обращением с источниками и обеспечением их сохранности, а также содействием их полезному использованию. Таким образом, уровень сохранности должен быть соразмерен уровню угроз и риску, связанному с несанкционированным присвоением источника.

Всеобъемлющая программа, направленная на борьбу со злоумышленным использованием радиоактивных источников, должна охватывать широкий круг вопросов, в том числе: надлежащее проектирование и производство источников; различные способы приобретения источников; предотвращение злоумышленного использования любых приобретенных источников и смягчение последствий злоумышленного использования источников.

Большое значение имеет также конфиденциальность информации. Каждому государству-члену необходимо принимать соответствующие меры на основании национального

законодательства для охраны секретности любой информации, которую оно получает от другого государства-члена конфиденциально согласно Кодексу поведения [14] или в результате участия в деятельности, проводимой в целях осуществления этого Кодекса поведения. Если какое-либо государство-член конфиденциально предоставляет информацию международным организациям, то необходимо принять меры для охраны секретности такой информации. Государство-член, конфиденциально получившее информацию от другого государства-члена, должно предоставлять такую информацию третьим сторонам только с согласия такого другого государства-члена. От государства-члена не требуется предоставлять какую-либо информацию, которую оно не вправе распространять на основании национального законодательства или которая может поставить под угрозу безопасность этого государства-члена.

В публикации Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности № 11 «Security of Radioactive Sources» («Сохранность радиоактивных источников») [25] содержатся руководящие указания по реализации мер обеспечения сохранности радиоактивных источников. В ней также даются рекомендации по осуществлению положений Кодекса поведения [14] в части, касающейся сохранности. Данный документ содержит руководящие указания и рекомендуемые меры по предотвращению, выявлению и пресечению злоумышленных актов с использованием радиоактивных источников. Он помогает также предотвратить утрату контроля над такими источниками.

5.11. КОНТРОЛЬ КРИТИЧНОСТИ

Когда многочисленные закрытые источники, содержащие делящиеся нуклиды, собраны, упакованы и помещены на хранение, пользователи должны оценить соответствующие количества материалов, помещенных в отдельные упаковки для хранения или захоронения. В критериях приемлемости централизованных хранилищ и пунктов захоронения обычно указываются предельные значения, касающиеся количества материалов и упаковки. Пользователи, хранящие у себя источники с делящимися материалами, могут обратиться за помощью к МАГАТЭ в определении безопасных предельных значений для имеющихся источников.

5.12. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Зоны обработки и хранения должны контролироваться как радиологические зоны, чтобы минимизировать воздействие ионизирующего излучения на работников и ограничить распространение радиоактивного загрязнения, если таковое происходит. Необходимо проводить регулярные обследования рабочей зоны на наличие загрязнения, а также радиационные обследования, чтобы удостовериться в соблюдении радиологических требований [41, 42]. Кроме того, если на хранении находятся закрытые источники, содержащие долгоживущие, летучие или радиотоксичные нуклиды (например, радий), необходимо проводить мониторинг уровней активности в воздухе. Обнаружение воздушного или поверхностного загрязнения — признак разгерметизации источников. Необходимо изучать причины любого отклонения от нормы и принимать соответствующие меры. В зависимости от местных требований, действующих на объекте, об этом может потребоваться сообщить в регулирующий орган.

Операторы должны предусмотреть наличие соответствующего комплекта приборов для мониторинга территории, портативных или стационарных регистраторов излучения конкретной рабочей зоны и индивидуальных дозиметров, в том числе электронных, если есть такая возможность. Отдельные требования к радиационной защите включают, помимо прочего, следующее:

- в непосредственной рабочей зоне должно быть установлено и поддерживаться в рабочем состоянии соответствующее оборудование радиационного мониторинга;
 - следует по возможности использовать средства оповещения, особенно если выполняемые работы могут привести к быстрому изменению радиологических условий;
 - персонал должен носить индивидуальные дозиметры в соответствии с предписаниями;
- на каждом этапе работы, когда удаляется или открывается защитный барьер, ограничивающий загрязнение, следует следить за уровнем загрязнения;
 - необходимо четко определить допустимые уровни загрязнения на каждом этапе запланированных работ;
 - в случае превышения допустимых уровней загрязнения должны быть немедленно приняты соответствующие меры реагирования, а сама работа должна быть приостановлена или прекращена в соответствии с правилами выполнения работ.

5.13. ВОЗНИКШИЕ ПРОБЛЕМЫ И ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

При безопасном обращении с ИЗРИ могут возникать проблемы, вызванные рядом причин.

5.13.1. Особенности системы регулирования

Залогом безопасности и сохранности радиоактивных источников является наличие системы регулирующего контроля. Любая оценка безопасности и сохранности радиоактивных источников в стране должна начинаться с рассмотрения степени регулирующего контроля над такими источниками в настоящее время и в прошлом. Во многих странах использование радиоактивных источников началось раньше, чем была создана современная инфраструктура регулирования. Кроме того, инфраструктуры время от времени меняются, подвергаются пересмотру или приводятся в соответствие с новыми технологическими, юридическими и политическими реалиями. Поэтому во всех странах инфраструктура регулирования постоянно эволюционирует, и вероятность утраты контроля над источниками зависит не только от характера использования источников в прошлом, но и от изменения со временем состояния соответствующей инфраструктуры.

При определении и анализе инфраструктуры регулирования основное внимание целесообразно уделять тем элементам, которые прямо определяют вероятность утраты контроля над источниками, особенно теми, которые относятся к категориям повышенного риска [43]. К числу этих элементов будет относиться лицензирование, импорт, владение, использование и захоронение радиоактивных источников. Большая часть информации будет иметься в регулирующих положениях, у регулирующих органов или других организаций, занимающихся конкретно вопросами радиационного надзора или надзора за радиоактивными материалами. Однако за другой значимой информацией, такой как информация о проверках компетентности и законности тех, кто хотел бы владеть источниками и использовать их, возможно, будет необходимо обратиться к другим законодательным положениям и другим регулирующим или разведывательным органам.

В качестве примера важности степени регулирующего контроля рассмотрим типичную проблему, когда промышленный измерительный датчик случайно отправляется на завод по переработке металлолома [43]. Эта проблема становится все более серьезной, и в прошлом были случаи гибели людей и причинения серьезного вреда здоровью, а также требовалось проведение дорогостоящей дезактивации. Эта проблема возникает по целому ряду причин, но в основном она связана с двумя коренными недостатками в области регулирования:

- 1) отсутствием эффективного регулирующего контроля в форме уведомлений или выдачи разрешений и инспектирования;

- 2) отсутствием регулирующих требований в отношении сохранности и подконтрольности источников или мер по обеспечению такой сохранности и подконтрольности.

Данная конкретная проблема, по-видимому, является наиболее острой в тех странах, где инфраструктура регулирования малоэффективна или по существу отсутствует. МАГАТЭ выявило типичные проблемы, связанные с источниками [43], и они перечислены ниже в произвольном порядке:

- отсутствие соответствующих законодательных и нормативных актов, регламентирующих контроль над радиоактивными источниками;
- отсутствие независимости у регулирующего органа;
- отсутствие или неадекватность процесса выдачи разрешений, лицензирования или регистрации радиоактивных источников;
- отсутствие специальной системы выдачи разрешений на радиоактивные источники, находящиеся в государственной собственности, и их лицензирования;
- отсутствие или неадекватность инспектирования, контроля за соблюдением требований и последующих мероприятий;
- структура лицензионных сборов, поощряющая нежелательное поведение пользователей;
- отсутствие приоритизации усилий в области регулирования, когда всем источникам уделяется одинаковое внимание независимо от их потенциальной опасности;
- приоритизация усилий на основе географических регионов, политических регионов или видов использования, а не на основе категоризации радиоактивных источников.

Инфраструктура регулирования в разных государствах-членах далеко не одинакова. В нескольких странах деятельность, связанная с закрытыми источниками, частично или полностью находится в ведении одного регулирующего органа. Вместе с тем в ряде стран существуют два или более двух регуляторов, разделяющих ответственность за различные виды деятельности или этапы жизненного цикла источника.

Существование нескольких регулирующих органов затрудняет общий контроль над закрытыми источниками, и для эффективной реализации политики обращения с источниками необходимо вести интенсивный обмен информацией. Так, если специальное разрешение на передачу, импорт, перевозку источника и т. д. выдает не тот регулирующий орган, который отвечает за выдачу лицензий, то маловероятно, что сопроводительную документацию по подлежащему передаче источнику можно будет сопоставить с лицензией грузополучателя. Такая же проблема может существовать и в большой регулирующей организации, где за разные виды деятельности отвечают разные отделы. В этом отношении преимущество имеет введенная в некоторых государствах-членах система выдачи лицензий на фиксированный период: она напоминает пользователям о необходимости проводить переоценку инвентарных запасов источников, их состояния, системы управления и т. д. и гарантирует наличие у регулирующего органа актуальных данных о пользователях. Вместе с тем процесс продления лицензий не должен быть неоправданно долгим.

5.13.2. Качество реестра источников

Наличие и качество национального реестра радиоактивных источников будет главным индикатором вероятности возникновения в стране проблем обращения с ИЗРИ. Для создания перечня источников может в принципе использоваться следующая информация [43]:

- инвентаризационные описи источников, имеющиеся у пользователей (в некоторых регулирующих структурах);
- учетные документы производителей источников;

- учетные документы агентов по продаже источников;
- учетные документы компаний, обслуживающих устройства, содержащие источники;
- учетные документы транспортных или экспедиторских компаний, включая таможенные декларации;
- информация, содержащаяся в отчетах и оповещениях о событиях;
- информация, содержащаяся в лицензионных документах пользователей.

Информация о радиоактивных источниках, собранная подобным образом, будет, по всей вероятности, неполной. Например, в учетных документах могут содержаться сведения только о существовании устройства, но не отдельного источника или источников в устройстве. В течение срока службы устройства в нем могут использоваться несколько отдельных источников. Еще одна проблема с информацией заключается в том, что она необязательно будет отражать вероятность изъятия выявленных источников употребления. В некоторых случаях лицензии выдаются на владение конкретным радионуклидом, активность которого не превышает определенный уровень, и такая ситуация может создавать некоторые проблемы инвентарного учета. Лицензиат может не иметь источников или же иметь один или несколько отдельных источников с суммарной активностью, не превышающей разрешенную. В силу всех этих причин может возникнуть необходимость в некоторого рода последующем контроле.

Даже если национальный реестр существует, весьма вероятно, что он неполон. Если он неполон, это может означать, что некоторые изъятые из употребления источники не были учтены и стали бесхозными. Поэтому имеющийся инвентарный перечень необходимо подвергнуть критическому изучению с целью проверки его качества, обоснованности, отсутствия внутренних противоречий и возможной полноты.

Типичные проблемы, возникающие в этой области, перечислены ниже:

- лишь некоторые лицензиаты имеют собственные инвентарные перечни;
- имеется лишь местный или региональный инвентарный перечень;
- учтены только источники, за которые отвечает одно государственное ведомство или департамент (например, департамент здравоохранения);
- учтены только источники определенного типа или используемые в определенной отрасли;
- учтены только источники, приобретенные или добавленные после некоторой даты;
- не учтены источники для военных целей;
- отсутствуют существенные данные;
- явно неверные данные;
- устаревшая информация.

В разных странах приняты различные подходы к созданию реестров источников. В странах, где рынок источников относительно невелик и за закрытые источники отвечает один регулирующий орган, можно вести точную базу данных с актуальной информацией обо всех отдельных источниках. В странах, где существует большое количество источников, используется региональный подход. Некоторым странам, в которых источники ионизирующего излучения используются давно и повсеместно, будет трудно перейти от сложившейся системы к централизованному подходу.

При подготовке национального реестра или оценке полноты или точности инвентарного перечня приоритетное внимание необходимо уделять источникам, относящимся к более высоким категориям. Например, должна иметься твердая уверенность в том, что в реестр включены все источники категорий 1 и 2. Проверку того, что в реестр включены источники категорий 4 и 5, можно провести в более отдаленные сроки со значительно более низким приоритетом. Еще один качественный аспект инвентарного перечня касается типа, точности и полноты информации, зарегистрированной для каждого из радиоактивных источников.

В большинстве случаев наилучшим методом создания и ведения инвентарного перечня радиоактивных источников является использование компьютерных баз данных, а не программ

для работы с таблицами и текстами, как это иногда имело место. После создания базы данных по источникам в ней гораздо проще проводить операции поиска, сортировки и подготовки отчетов. Существует ряд коммерчески доступных программ по ведению инвентарных перечней радиоактивных материалов, а также Информационная система для регулирующих органов (РАИС) [44] МАГАТЭ, в которой имеется модуль инвентаризации источников.

5.13.3. Освобождение от контроля

В большинстве государств-членов в той или иной степени практикуется освобождение от регулирующего контроля на основании предельных значений активности отдельных радионуклидов в целом и в зависимости от их радиотоксичности или обоснованной практической деятельности. В некоторых странах используется сочетание обоих подходов. Однако практика применения уровней освобождения сильно различается в разных государствах-членах.

5.13.4. Финансирование

После приобретения и поставки оборудования на установке могут не быть предусмотрены затраты на передачу права собственности на источник, когда оборудование будет в итоге выведено из эксплуатации. Это может произойти потому, что у собственников установки нет бюджетного механизма накопления средств для оплаты расходов, которые будут понесены только в отдаленном будущем (возможно, спустя десятилетия) и сумму которых можно рассчитать только ориентировочно. Это может быть связано также с предположением, что затраты на передачу прав собственности можно будет покрыть из операционного бюджета установки или определить покрытие таких затрат условием покупки нового оборудования. Это может вызвать финансовые затруднения в момент передачи права собственности, в связи с чем у собственника может возникнуть соблазн использовать менее дорогостоящие варианты. Из-за этого может вырасти вероятность утраты контроля над отработавшим источником.

Ряд государств-членов предоставляет государственные средства, экспертные ресурсы и установки для восстановления, кондиционирования, хранения и захоронения изъятых из употребления и бесхозных источников. Это особенно эффективно для проблемных источников, относящихся к категории высокого риска. Применение этой практики может предполагать взимание пользовательских сборов.

Введение ежегодного лицензионного сбора не способствует длительному хранению неиспользуемых источников, поскольку за это взимается штраф. Такая система действует в Финляндии.

5.13.5. Ведение учета

Отсутствие учетных документов, содержащих информацию о местонахождении источников в первые годы хранения, затрудняет извлечение источников, в том числе оценку доз профессионального облучения и безопасности, а также интерпретацию результатов радиационного мониторинга.

Если производители отходов используют систему отслеживания источников, желательно, чтобы эта система была совместима с системой отслеживания отходов хранилища. Это может сократить дублирование усилий и/или дать возможность передачи некоторой информации между базами данных. Опыт показывает, что использования общепринятых методов идентификации (таких как номера, нанесенные краской на внешнюю поверхность бочки, и бумажные этикетки, даже ламинированные) недостаточно, чтобы гарантировать идентификацию при длительном хранении. Этикетки должны быть более прочными: например, можно использовать металлические пластинки, которые крепятся на цементном основании внутри контейнера. Особое внимание следует уделять обновлению аппаратных средств и программного обеспечения для резервных

копий баз данных. Компьютерные технологии быстро меняются. Задержки с обновлением программного обеспечения и аппаратных средств могут поставить под угрозу базу данных об ИЗРИ, в связи с чем потребуются использовать дублирующие системы. В прошлом много информации было утеряно из-за плохого ведения учета. В журналы заносились записи, которые часто были непонятными или двусмысленными. Значительные усилия по-прежнему тратятся на «расшифровку» некоторых старых записей. Ведение базы данных по отслеживанию источников требует постоянных усилий.

Важно проверять учетные документы. Существуют примеры, когда учетные документы неточно отражают фактическую природу, местонахождение и количество источников. Объем информации в старых базах данных недостаточен для того, чтобы обеспечить экономически эффективное обращение с отходами, которые хранятся в течение длительного времени. Проблема заключается в том, что существующая база данных используется в настоящее время и в своем нынешнем виде может не подойти для использования в будущем.

Помимо того, что создать надежную систему долгосрочного ведения учетной документации сложно, иногда еще и отсутствует стимул для выделения ресурсов на выполнение этой задачи.

5.13.6. Оценка системы управления

Адекватность системы управления обычно проверяется путем оценки. Она включает действия руководства по проверке продукции, самооценку и независимую проверку. Оценка охватывает все элементы обращения с ИЗРИ, позволяя судить о взаимодействии между ними и их эффективности. Многолетний опыт показывает, что любая система управления, если ей не уделять внимания, со временем деградирует. Таким образом, оценка системы управления становится наиболее важной частью системы управления в целом, поскольку она позволяет определить эффективность системы до, во время и после захоронения, а также обеспечить постоянное повышение качества всего процесса.

6. СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ

В Кодексе поведения [14] содержится следующее требование:

«Каждому государству в целях защиты физических лиц, общества и окружающей среды следует принимать соответствующие меры, необходимые для обеспечения того, чтобы радиоактивные источники, находящиеся в пределах его территории или под его юрисдикцией или контролем, на протяжении своего полезного срока службы и в конце своего полезного срока службы находились в условиях, при которых обеспечиваются безопасное обращение с ними и их надежная защита».

Единой и общей для всех государств комплексной стратегии обращения с радиоактивными источниками после окончания срока их службы не существует. Имеющиеся стратегии обращения отражают различия между государствами в следующих аспектах: i) уровень развития законодательной и регулирующей системы; ii) наличие ядерно-энергетической программы; iii) общее количество и характеристики изъятых из употребления источников в данном государстве; iv) доступность финансовых и людских ресурсов; v) то, является ли данное государство поставщиком радиоактивных источников. В государствах, не имеющих ядерно-энергетических программ, изъятие из употребления источники обычно являются наиболее значимым направлением деятельности по обращению с радиоактивными отходами. Некоторым имеющим ядерную промышленность странам могут потребоваться дополнительные усилия для обеспечения того, чтобы изъятым из употребления источникам уделялось должное внимание. Во многих странах правила обращения с ИЗРИ установлены в национальной политике обращения с радиоактивными отходами. Вопросы, которые должны освещаться в политических документах, описаны в статье 28 Объединенной конвенции [13] и других публикациях МАГАТЭ [29, 44, 45].

Каждое государство-член — вне зависимости от объема деятельности в этой области и значимости соответствующих рисков — должно иметь стратегию осуществления национальной политики. В указанной стратегии должен быть изложен системный подход, включающий такие аспекты, как четкое распределение обязанностей, подробные сведения о текущем и прогнозируемом количестве изъятых из употребления источников, ясная последовательность действий по обращению с каждым источником или каждой категорией источников, а также наличие соответствующих технологий. Стратегия должна рассматриваться как план обращения с источниками, облегчающий систематическое планирование и безопасное осуществление всех видов соответствующей деятельности. После утверждения этого плана государственными органами начинается финансирование деятельности в сфере обращения с изъятыми из употребления источниками.

Указанная стратегия может быть разработана лицензиатом или ЦООРО. Если количество источников невелико, а ЦООРО отсутствует, регулирующий орган в сотрудничестве с пользователем может на национальном уровне принять подходящее решение, касающееся обращения с ИЗРИ.

6.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИИ

Лица, занимающиеся разработкой или актуализацией национальной стратегии или стратегии какой-либо из организаций-исполнителей, должны разбираться, помимо прочего, в перечисленных ниже вопросах.

- Текущее и будущее использование источников в стране.
- Общее количество ИЗРИ в стране.

- Система категоризации источников.
- Характеристики ИЗРИ.
- Принятые в других странах стратегии обращения с ИЗРИ.
- Сведения о существующих объектах для обращения с ИЗРИ (горячие камеры, пункты хранения и захоронения).
- Наличие ресурсов (финансовых, людских, инфраструктурных).
- Действующий режим регулирования (требования к приему и возврату изъятых из употребления источников).
- Ожидания и интересы соответствующих сторон.
- Национальная схема классификации радиоактивных отходов.

Некоторые страны могут предпочесть двухуровневую стратегию: главные установки в общих чертах формулируются в национальной стратегии, принимаемой правительством, а ее осуществление во всех ее многообразных аспектах поручается организациям, владеющим радиоактивными источниками (корпоративные стратегии). Такой подход может быть рекомендован для более скоординированного обращения с ИЗРИ, повышения уровня их безопасности и сохранности и эффективного использования национальных ресурсов. Как правило, может быть предусмотрено создание единого национального хранилища вместо нескольких объектов, находящихся в собственности крупных лицензиатов, либо централизованных служб манипулирования и кондиционирования.

6.2. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ ОБРАЩЕНИЯ

Выбор варианта обращения с каждым конкретным источником определяется множеством различных факторов, включая его активность, содержание и период полураспада радиоизотопов, условия договора купли-продажи и физическое состояние источника. После выбора варианта обращения лицензиат должен уведомить о ней регулирующий орган. Помимо этого, лицензиат обязан согласовывать с регулирующим органом все вопросы обращения с ИЗРИ.

Ниже приводится перечень возможных общих схем обращения с изъятыми из употребления радиоактивными источниками:

- передача другому уполномоченному пользователю (для дальнейшего разрешенного использования);
- возврат производителю или поставщику;
- временное хранение в заводском защитном корпусе (например, в случае радионуклидов с периодом полураспада менее 100 суток);
- кондиционирование (например, переупаковка);
- хранение (в частности, в специализированных или централизованных хранилищах);
- захоронение.

Все источники, в отношении которых будут применяться процедуры обращения с отходами, подлежат характеристике в целях определения активности, содержания радионуклидов и иных значимых параметров. Выбор вариантов обращения с каждым источником осуществляется исходя из этих характеристик. На рис. 44 показаны общие схемы обращения с ИЗРИ, учитывающие возможность повторного использования/переработки источника и различные варианты захоронения исходя из характеристик источника, включая период полураспада и физическое состояние.

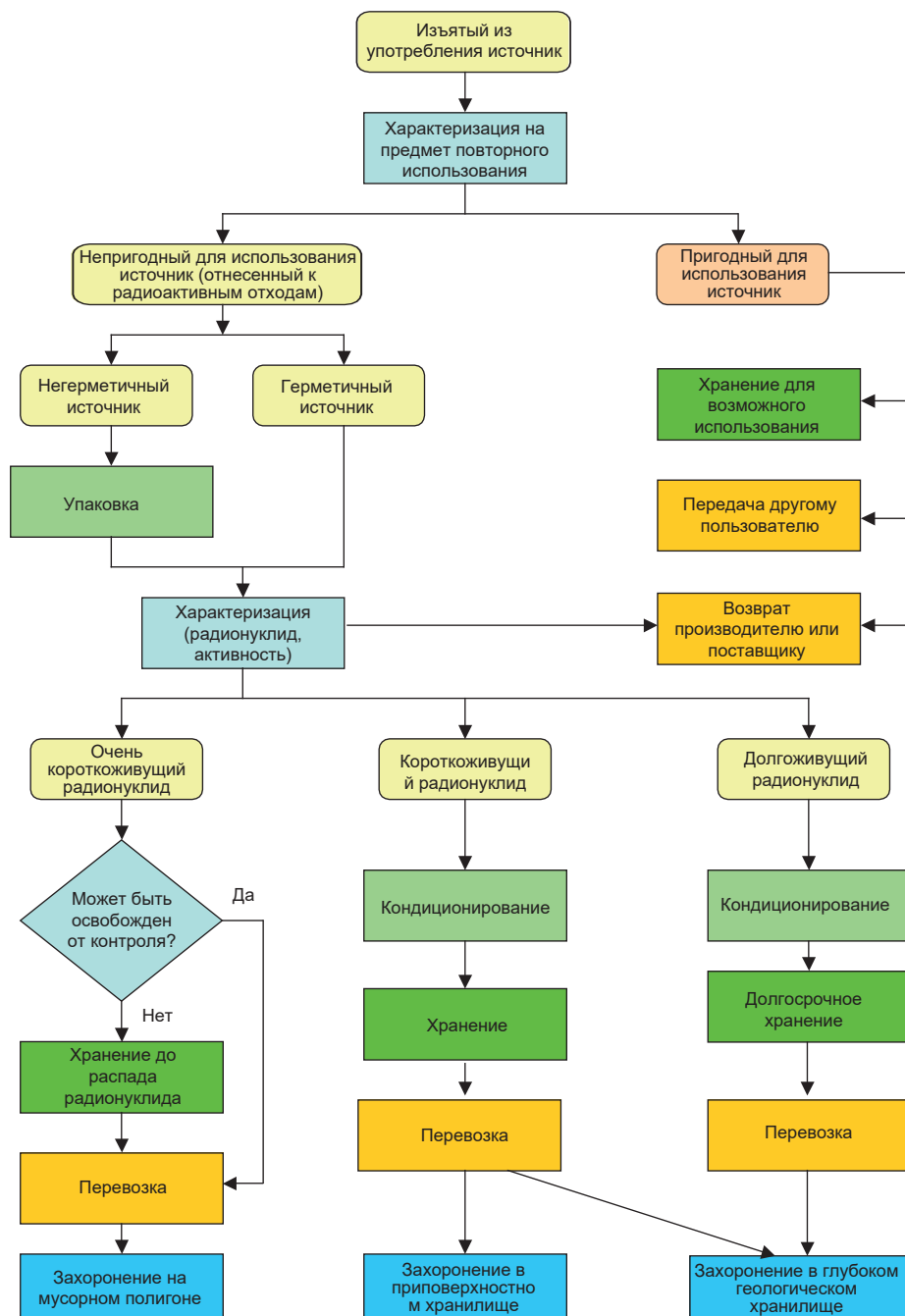


РИС. 44. Блок-схема обращения с ИЗРИ.

Выводом из эксплуатации называется удаление лицензированных источников излучения и связанных с ними устройств с установки, а также административные и технические мероприятия в целях частичного или полного освобождения от регулирующего контроля [30]. Конструкция некоторых установок, например аппарата для телетерапии, предусматривает наличие только одного излучающего устройства. Другие объекты могут представлять собой лицензированные помещения со множеством отдельных устройств, которые там эксплуатируются (например, производственная линия с промышленными контрольно-измерительными приборами) либо хранятся (например, склад мобильных устройств). Вывод из эксплуатации может предполагать удаление значительного количества источников до окончания срока действия лицензии объекта или

установки. Помимо этого, возможно удаление части излучающих устройств объекта или установки перед получением новой лицензии и замена их новыми устройствами для дальнейшей работы. При этом замена источника в имеющемся устройстве выводом из эксплуатации не считается. При планировании и осуществлении вывода из эксплуатации следует руководствоваться правилами безопасной организации работ по выводу из эксплуатации для медицинских, промышленных и исследовательских установок [46].

В случае объектов с ЗРИ вывод из эксплуатации может сводиться к разрешенному удалению всех имеющихся источников. В более сложных ситуациях, требующих демонтажа на площадке содержащего источники оборудования, вывод из эксплуатации должен осуществляться опытным персоналом, имеющим необходимую квалификацию, в зонах, допускающих проведение подобных работ. Многие пользователи содержащего источники оборудования не располагают персоналом, необходимым для полной разборки такого оборудования с извлечением закрытых источников, либо не имеют официального разрешения на проведение подобных работ.

6.2.1. Передача другому уполномоченному пользователю

ИЗРИ может быть повторно использован в других областях, если его активность и физическое состояние допускают дальнейшее использование. Передача источника другим пользователям несет в себе ряд экономических выгод и экологических преимуществ. Однако она должна осуществляться в условиях надлежащего контроля, а получатель должен быть уведомлен о соответствующих регулирующих требованиях. Помимо этого, необходимо предусмотреть наличие у объекта пользователя лицензии на получение источника и инфраструктуры, необходимой для повторного использования источника на установке нового пользователя, а также обмен соответствующими документами между прежним пользователем, новым пользователем и национальным регулирующим органом. По возможности следует определиться с повторным использованием закрытых источников до их покупки.

Особое внимание необходимо уделить вопросам исправности передаваемых закрытых источников и их пригодности для нового применения. Новому владельцу должны быть предоставлены копии всех соответствующих документов с информацией о прежнем использовании источника (в частности, условия его использования и журналы учета работ по техническому обслуживанию). В обязательном порядке должны быть указаны серийный номер изделия, содержание радионуклидов и уровень активности. В случае высокоактивных источников вполне вероятно, что соответствующие проверки исправности могут быть выполнены только на специализированных установках. В связи с этим прямая передача подобных источников новому пользователю может быть нецелесообразна; источник следует передавать через посредника, в качестве которого может выступать производитель или поставщик источника либо иная компетентная организация.

Передача новому пользователю в пределах одной страны наиболее актуальна для источников на основе ^{137}Cs и ^{60}Co , используемых в лечебных целях. Подобные источники пригодны к повторному использованию в своих первоначальных корпусах без демонтажа капсул. Отправку закрытых источников новым пользователям рекомендуется осуществлять в оригинальных транспортных контейнерах. В случае их отсутствия следует приобрести надлежащие контейнеры или прибегнуть к услугам специальной организации по перевозке ядерных материалов.

6.2.2. Возврат производителю или поставщику

В случае невозможности повторного использования ИЗРИ может быть возвращен производителю или поставщику либо отправлен иным поставщикам или производителям подобных источников. Производители и/или поставщики располагают информацией о

рентабельности переработки источников различных типов и спросе на них, что позволяет им принимать оптимальные решения касательно дальнейшей судьбы каждого источника. Процедуры возврата могут предполагать принятие следующих юридических мер:

- включение пользователем ЗРИ в договор покупки или аренды положения, допускающего или предписывающего возврат источника. Во многих странах это стало обычной практикой;
- предоставление копии договора с указанным пунктом регулирующему органу до начала процедуры импорта источника.

Если возврат источника не был согласован с производителем или поставщиком в момент его приобретения, этот вопрос может быть решен в любое время в течение срока службы источника. Упаковка и перевозка возвращаемых производителям и поставщикам источников должна осуществляться согласно соответствующим пунктам Правил безопасной перевозки радиоактивных материалов [47]. В некоторых случаях возврат невозможен, особенно в случае старых источников неустановленного или более не существующего производителя.

Источники категории 1 и 2 в большинстве случаев лучше всего возвращать производителю или поставщику, от которого они были получены, но следует прилагать усилия к тому, чтобы все ИЗРИ возвращались производителям или поставщикам, у которых должно иметься все необходимое оборудование для их повторного использования или переработки.

Повторная герметизация и переработка достаточно высокоактивных ИЗРИ осуществляется в горячих камерах. Повторной герметизации обычно подвергаются источники нейтронов на основе ^{60}Co , ^{137}Cs и Am-Be. Извлекаемое из капсул содержимое может быть использовано в качестве сырья при производстве новых источников, предназначенных для других целей. Например, извлекаемые из старых аппаратов для телетерапии источники на основе ^{137}Cs в форме хлорида цезия могут быть преобразованы в источники малого размера для других нужд, в частности для брахитерапии.

Аналогичным образом перерабатываются другие источники нейтронов, например на основе ^{252}Cf . Источники, содержащие менее 40 мг ^{252}Cf , могут быть захоронены при небольших затратах, тогда как источники с большим количеством указанного радионуклида могут быть переработаны с целью производства новых источников.

Большинство изотопов обычно не подвергаются повторному облучению. Примечательным исключением является ^{75}Se , получаемый путем облучения природного селена или высокообогащенного ^{74}Se . Высокообогащенный ^{74}Se является чрезвычайно дорогим сырьем. Поэтому отработавшие источники на основе ^{75}Se могут многократно проходить повторное облучение для производства новых источников с теми же характеристиками.

Аренда источников становится все более распространенной альтернативой их приобретению. В рамках договора аренды пользователь не становится владельцем источников, а арендует их у производителя или поставщика на определенный срок, по окончании которого источники возвращаются владельцу. В некотором смысле эта схема повышает уровень безопасности источников, так как производитель, оставаясь владельцем, несет ответственность за их возврат в целях последующего захоронения. Однако ответственность за обеспечение безопасности источников в процессе их повседневной эксплуатации по-прежнему лежит на пользователе. Аренда источников может быть предложена пользователям в случае непродолжительных периодов их эксплуатации, а также в случае низкоактивных и короткоживущих источников.

6.2.3. Хранение перед захоронением

Хранение источников перед захоронением может осуществляться для того, чтобы добиться радиоактивного распада короткоживущих радионуклидов (*краткосрочное хранение*), что упрощает процедуру захоронения. Помимо этого, возможно хранение в ожидании принятия мер по захоронению. Однако продолжительное хранение изъятых из употребления источников в целях, отличных от радиоактивного распада, не рекомендуется. Выбор оптимального решения,

касающегося сроков хранения в ожидании окончательного вывода из эксплуатации и захоронения, должен осуществляться стороной, несущей основную ответственность, по согласованию с регулирующим органом и с учетом конкретных условий на объекте. Например, в случае выведенной из эксплуатации производственной линии с большим количеством источников следует рассмотреть возможность их сбора в надежном месте. Если же в связи с выводом производственных помещений из эксплуатации дальнейший контроль над этими источниками обеспечен быть не может, указанная процедура сбора должна быть проведена в обязательном порядке.

ИЗРИ на основе короткоживущих изотопов (например, ^{32}P , ^{125}I , ^{192}Ir , ^{210}Po) могут храниться до тех пор, пока в результате радиоактивного распада их активность не снизится до уровня, позволяющего освободить радиоактивные материалы от регулирующего контроля. Захоронение таких источников как нерадиоактивного материала на муниципальных мусорных полигонах или на других свалках нерадиоактивных отходов допускается только после подтверждения того, что их остаточная активность не превышает установленных регулирующим органом уровней освобождения от контроля.

При установлении уровней освобождения от контроля, а также при освобождении от дальнейшего регулирующего контроля отдельных изъятых из употребления источников регулирующий орган должен принимать во внимание уровни изъятия, установленные национальным законодательством в сфере радиационной защиты. Согласно рекомендациям ОНБ [11], уровень освобождения от контроля для каждого радионуклида не должен превышать его уровень изъятия. В ОНБ приводятся несколько примеров радионуклидов, которые целесообразно хранить до завершения радиоактивного распада, и указаны установленные для них уровни изъятия.

Не следует хранить на объекте и в централизованных хранилищах источники, не отвечающие установленным требованиям для хранения (см. раздел 9). Для соответствия этим требованиям источник должен пройти определенное кондиционирование, делающее его пригодным для безопасного и надежного хранения. При кондиционировании источника для будущего хранения следует принимать во внимание возможность извлечения источника для последующей переработки/повторного использования, а также возможность его переупаковки для захоронения (см. разделы 10 и 12). Например, кондиционирование путем помещения в бетонный чехол может сильно затруднить последующее извлечение источника с перечисленными целями.

Большинство стран не располагает подходящими объектами для захоронения ИЗРИ. Создание пункта захоронения может занимать продолжительное время. В связи с этим возникает необходимость в объектах *долгосрочного хранения*. Подобные объекты могут эксплуатироваться на государственном или региональном уровне и нуждаются в надлежащем регулирующем надзоре.

6.2.4. Захоронение

При отсутствии возможностей для переработки и повторного использования либо возврата производителю или поставщику и наличии подходящего хранилища пользователю следует рассмотреть возможность захоронения источника как радиоактивных отходов с соблюдением соответствующих требований. Захоронение — это последний этап жизненного цикла радиоактивного источника.

Варианты захоронения ИЗРИ определяются уровнем их активности и типами используемых в них радионуклидов [48]. Приповерхностные хранилища могут использоваться для захоронения низкоактивных короткоживущих источников. Однако конкретные радиологические характеристики многих ИЗРИ не соответствуют критериям приемлемости отходов для подобных хранилищ. Дело в том, что присутствие в хранилище подобных источников означает наличие в нем мест с высокими локальными концентрациями радионуклидов — так называемых «горячих точек», что означает риск недопустимо высокого облучения в случае непреднамеренного вмешательства человека. Для долгоживущих изъятых из употребления источников с уровнями активности, исключающими их захоронение в приповерхностных хранилищах, рекомендуется глубинное подземное захоронение. Глубинное геологическое захоронение обеспечивает высочайшую степень изоляции среди

всех рассматриваемых в настоящее время концепций захоронения. Для стран, не планирующих строительство подобных хранилищ, может представлять интерес создание международных геологических хранилищ. Еще одним вариантом является создание на территории страны особого типа предприятия по скважинному захоронению, специально предназначенного для захоронения ИЗРИ [48].

Перед началом работ необходимо выполнить анализ безопасности для выбранного варианта захоронения, а также получить лицензию на производство таких работ.

6.3. ТИПЫ ОБЪЕКТОВ

Помимо описанных выше общих схем обращения, существует несколько технических решений, которые могут быть изучены странами при организации обращения с ИЗРИ. Это совместное и централизованное использование объектов, а также использование мобильных перерабатывающих установок.

6.3.1. Объекты совместного пользования

Страны могут принять решение о совместном использовании специальных объектов для обращения с радиоактивными отходами. Подобное решение позволяет снизить стоимость обращения с ИЗРИ для всех участников.

Объекты совместного пользования могут включать в себя многонациональные предприятия для хранения и захоронения. Подобные предложения вносились в рамках Объединенной конвенции [13] и обсуждались заинтересованными странами [49].

6.3.2. Централизованные объекты

При разработке стратегии обращения с ИЗРИ может быть сделан стратегический выбор между централизованным и локальными объектами. Оба варианта имеют свои преимущества. Централизованный объект позволяет осуществлять переработку, хранение и, в ряде случаев, захоронение всех или значительной части имеющихся в стране ИЗРИ. Он обычно более экономичен по сравнению с отдельными объектами, требует меньших людских ресурсов по сравнению с несколькими отдельными объектами и, скорее всего, обеспечивает более высокий уровень сохранности источников. Локальные объекты, напротив, позволяют выполнять операции по обращению с источниками непосредственно там, где они были изъяты из употребления, тем самым снижая потребность в их перевозке.

На самом деле выбор между двумя типами объектов редко бывает продиктован сугубо экономическими соображениями, поскольку приходится принимать во внимание также местную политическую конъюнктуру, историю развития ядерной отрасли в стране, географические факторы и общественное мнение. Тем не менее при разработке и актуализации стратегии обращения необходимо уделить должное внимание обоим указанным вариантам в применении ко всем операциям по обращению с отходами в стране либо к той их части, рассмотрение которой представляется целесообразным.

6.3.3. Мобильные установки

Частичной альтернативой централизованным объектам для обращения с ИЗРИ, во многом столь же экономически привлекательной, может быть использование мобильных перерабатывающих установок. Для эффективной эксплуатации подобных объектов требуется некое минимальное количество источников, и поэтому источники должны поступать на них партиями. Затраты индивидуальных пользователей на обращение с ИЗРИ могут быть снижены

в случае совместного использования таких установок. Примером подобного объекта является передвижная горячая камера МАГАТЭ, предназначенная для кондиционирования высокоактивных источников (см. раздел 10.7).

6.4. РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ОБРАЩЕНИЯ

Стратегия обращения с ИЗРИ должна разрабатываться исходя из ситуации в соответствующем государстве-члене и учитывать ее специфику. Работа над национальной стратегией обращения с ИЗРИ может быть разделена на три этапа [50]:

- 1) *оценка*: определение области применения стратегии;
- 2) *разработка*: определение мер по реализации технических решений и очередности их принятия, составление соответствующего плана;
- 3) *осуществление*: получение необходимой поддержки и ресурсов, реализация технических решений, оценка результатов выполнения плана.

При разработке общей стратегии государству-члену необходимо оценить преимущества и недостатки различных вариантов, после чего соответствующим образом расставить приоритеты. В целом, в национальной стратегии можно заострить внимание на следующих аспектах:

- категории источников (например, категории 1, 2 и 3);
- типы источников (например, источники для промышленной радиологии);
- отрасль, в которой были выявлены проблемы (например, переработка металлолома);
- географический регион (например, столица);
- источники, использование которых было начато до создания национального регулирующего органа.

Залогом успеха является реалистичная оценка объема ресурсов, которые могут быть направлены на разработку и осуществление национальной стратегии. Некоторые страны могут выделить достаточно большие ресурсы на разработку всеобъемлющей национальной стратегии с прогнозированием будущей ситуации и планированием действий, соответствующих этой ситуации.

При создании национальной стратегии обращения с ИЗРИ на этапе оценки производится сбор и оценка информации, по результатам которых делаются заключения о природе и масштабах имеющихся проблем. Оценка — это постоянный, непрерывный процесс, учитывающий изменение ситуации в государстве-члене. Этап оценки — это не единственный момент, в который принимаются решения; это скорее момент принятия важных решений, касающихся необходимости национальной стратегии, ее направлений и содержания.

Оценка информации производится как в процессе ее сбора, так и впоследствии. Охват и методика оценки могут корректироваться исходя из объема и типа собранной информации. После получения необходимой информации может быть выполнено сопоставление фактической ситуации с требованиями соответствующих национальных законодательных и нормативных актов, а также международных норм и руководств [28, 51], в целях выявления соответствующих расхождений и оценки их масштабов. В качестве международного руководящего документа в этой области рекомендуется использовать Кодекс поведения [14].

6.5. ВОЗНИКШИЕ ПРОБЛЕМЫ И ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

6.5.1. Общие замечания

Используя радиоактивный источник, страна, скорее всего, извлекла из этого максимальную практическую и экономическую пользу, в связи с чем она же должна позаботиться о его захоронении при наличии в настоящее время или в будущем подходящего способа для этого. Однако при этом необходимо принять в расчет экономическую целесообразность сбора большого количества однотипных источников с целью их переработки или захоронения на одном объекте. Подобный объект вполне может располагаться в стране производства источника, но это не является стопроцентным правилом.

Имеющийся регулирующий контроль (инспекции, применение санкций и т.д.) иногда бывает неэффективным, и в этом случае необходимо создать систему инспекций, призванную обеспечить соблюдение требований соответствующих регулирующих положений. При этом указанные положения должны предусматривать возможность наложения компетентными органами взысканий за несоблюдение таких требований. В качестве взысканий могут применяться пропорциональные штрафы, а также приостановка или отзыв лицензии. Помимо этого, должны применяться общие положения уголовного кодекса.

6.5.2. Передача другому уполномоченному пользователю

Опыт реальных аварий с изъятыми из употребления источниками показывает, что риск таких аварий возрастает в случае физической передачи источников другому пользователю без передачи сопроводительной информации и ответственности.

В случае передачи ответственности, как в пределах одной организации (от оператора источника к ответственному за временное хранение), так и между организациями (от старого владельца к новому), любые пробелы в информации, передаваемой между пользователями или организациями, могут стать источником дополнительных рисков.

6.5.3. Возврат производителю или поставщику

Во многих государствах-членах регулирующие органы рекомендуют или требуют возвращать источники производителям или поставщикам. Однако в ряде случаев это представляется затруднительным в силу следующих причин:

- первоначальный поставщик неизвестен, более не существует или не может быть установлен;
- срок действия сертификатов источников или сертификатов источников особого вида истек;
- отсутствует надлежащий транспортный контейнер;
- отсутствует подходящее транспортное средство;
- отсутствуют финансовые ресурсы, необходимые для упаковки и перевозки ИЗРИ;
- в системе регулирования имеются определенные ограничения на импорт или экспорт.

Указанные проблемы вносят определенные сложности в совместную работу участвующих сторон, особенно ввиду ограничений и трудностей, связанных с трансграничной перевозкой ИЗРИ. В связи с ограничениями на трансграничную перевозку радиоактивных отходов несколько раз имели место особые случаи (к которым были причастны обе стороны — как отправитель, так и получатель), когда изъятые из употребления источники передавались пользователем стороне, готовой принять их как минимум для частичного повторного использования. В подобных случаях, судя по всему, обычно практикуется следующее: получатель принимает груз, содержащий несколько источников, и вскоре после этого декларирует ненужные источники как отходы. Однако проблемы обеспечения сохранности ИЗРИ являются весомым аргументом в пользу возврата

таких источников поставщикам. Важным шагом к решению проблемы может стать пересмотр производителями и регулирующими органами рекомендованных сроков службы источников, что окажет существенное влияние на процесс принятия решения о статусе изъятого из употребления источника. Улучшению ситуации в указанной области может способствовать принятие общих правил, разработанных с учетом перечисленных выше моментов.

6.5.4. Хранение перед захоронением

Во многих государствах-членах имеются данные о большом количестве изъятых из употребления источников, хранящихся на объектах пользователей. Некоторые из них в действительности принадлежат частным клиникам, и, прежде чем объявлять их радиоактивными отходами, необходимо решить важный вопрос об их собственности. Хранение источников на объектах пользователей обусловлено прежде всего экономическими причинами. Источники могут храниться в контейнерах в течение нескольких десятилетий, причем некоторые из контейнеров могут находиться в неудовлетворительном техническом состоянии. В ряде случаев источники не могут быть безопасно захоронены по причине высокой стоимости захоронения или отсутствия возможностей для надлежащего захоронения, и их приходится помещать на хранение нередко на неопределенный срок. Поскольку источники находятся на хранении и более не используются, со временем над ними может быть утрачен контроль либо может произойти их несанкционированное изъятие или хищение.

Кодекс поведения [14] требует от каждого государства принятия мер, исключающих возможность продолжительного хранения закрытых источников на не предназначенных для этого объектах. Централизованное хранение изъятых из употребления источников позволяет снизить вероятность их утраты, особенно при наличии стандартного регулирующего контроля. Во многих государствах-членах функционируют центральные промежуточные хранилища, пригодные для приема большинства источников, однако в ряде случаев у них имеются ограничения по типам источников, которые могут приниматься и храниться без существенных затруднений. В некоторых случаях по прошествии нескольких лет возникает также проблема переполнения хранилища.

Технические и прочие факторы, определяющие выбор технологий кондиционирования отходов, рассматриваются в [52]. Они отчасти применимы и к ИЗРИ, если источники рассматриваются как радиоактивные отходы, поэтому их следует принимать во внимание в процессе разработки стратегии обращения с отходами.

6.5.5. Захоронение

Ряд государств-членов имеют пункты захоронения радиоактивных отходов либо планируют их создание, тогда как в других государствах-членах такие пункты отсутствуют. В некоторых случаях создание пункта захоронения, особенно высокоактивных и долгоживущих источников, нецелесообразно в силу малого количества источников и иных радиоактивных отходов.

Небольшие страны без ядерной инфраструктуры должны иметь возможность пользоваться пунктами захоронения, имеющимися в других государствах-членах, чтобы избежать необходимости решать эту проблему собственными силами. Желательно, чтобы возможность захоронения была предоставлена страной-производителем, но при наличии других практических способов это условие не является обязательным.

7. ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

Характеризация определена МАГАТЭ в [1] как «определение физических, химических и радиологических свойств отходов с целью определения необходимости их дальнейшей коррекции, обработки или кондиционирования, или же пригодности к дальнейшему манипулированию, переработке, хранению или захоронению». Сведения о количествах и характеристиках изъятых из употребления источников необходимы для выбора варианта обращения с ними и обоснования безопасности используемых при этом методов.

7.1. НЕОБХОДИМАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Перед началом работы с любым изъятым из употребления источником следует провести его характеристику. Ниже приводится минимальный перечень необходимых данных об источнике:

- используемые радионуклиды;
- оценка активности;
- физические характеристики источника и/или устройства, включая массу и размеры;
- химическая форма;
- тип защиты;
- состояние источника (например, поврежденный, негерметичный, с изменениями в конструкции).

Наличие этих данных является обязательным минимальным условием для манипулирования, кондиционирования, перевозки, хранения и захоронения ИЗРИ. Помимо этого, при разработке стратегии обращения с конкретным источником может быть полезна следующая информация:

- метод герметизации радиоактивного материала;
- серийные номера источника и устройства;
- дата производства;
- наименование производителя и страна производства (источника и устройства);
- последний пользователь или владелец;
- текущее местонахождение;
- любая прочая информация, которая может быть использована при характеристике источника.

7.2. ГРУППЫ, ВЫДЕЛЯЕМЫЕ ПРИ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ИЗЪЯТЫХ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

Может потребоваться предварительная характеристика источников для разделения их по типам обращения. Например, производится отделение ЗРИ от других отходов, отделение низкоактивных источников и источников, содержащих короткоживущие радионуклиды, а также извлечение закрытых радиоактивных источников из защитных цементных корпусов. Негерметичные источники должны быть отделены от прочих и собраны в отдельном месте во избежание взаимного загрязнения. Первоначальное разделение отходов может производиться исходя из истории эксплуатации объекта, имеющихся в учетных документах данных об отходах

и имеющихся результатов измерений. Таким образом, при наличии достаточно полных и достоверных данных можно ограничиться упрощенной программой характеристики, сводящейся к проверке и аттестации.

С точки зрения характеристики ИЗРИ можно разделить на нижеследующие группы.

- а) *Контролируемые (документированные) источники.* Контролируемым использованием радиоактивного устройства, источника или транспортного упаковочного комплекта считается использование по назначению при наличии идентифицируемого владельца. Если эти условия не выполняются, устройство, источник или транспортный упаковочный комплект считаются неконтролируемыми. Контролируемые источники имеют необходимую документацию с объективной информацией об их характеристиках. Как правило, эта документация включает в себя следующее:

- документацию производителя (сертификат);
- неудаляемую маркировку на источнике, оборудовании или контрольно-измерительном приборе;
- сертификат прослеживаемости;
- данные неразрушающего анализа;
- инвентаризационную документацию.

Вся перечисленная документация может использоваться только при условии прослеживаемости ее привязки к соответствующим источникам и проверки активности этих источников. Значения активности должны быть проверены для сравнения с инвентаризационной описью.

- б) *Неконтролируемые (недокументированные) источники.* Неконтролируемыми называются источники, не имеющие необходимой документации, описывающей их характеристики. Источники этой группы должны пройти дополнительные процедуры определения используемых в них изотопов и измерения активности. Бесхозные источники в большинстве случаев принадлежат к группе недокументированных источников, в связи с чем они также должны проходить указанные процедуры характеристики. Помимо этого, важно установить их бывших владельцев. Это поможет проследить судьбу бесхозного источника с момента нахождения у последнего (предыдущего) владельца до момента утраты контроля над ним и удостовериться в том, что был потерян только один источник или что имеются и другие источники, нуждающиеся в поиске и отслеживании.
- с) *Негерметичные источники.* Негерметичными называются источники, оболочка которых более не предотвращает попадание радиоактивного материала в окружающую среду. Закрытые источники этой группы могут иметь необходимую документацию (контролируемые) и не иметь таковой (неконтролируемые). Негерметичные источники должны проходить категоризацию отдельно от прочих, так как в их случае может возникнуть необходимость в герметизации и/или дополнительных процедурах кондиционирования.

7.3. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ

Оптимальное средство идентификации источников — это их серийные номера (в случае их наличия и читаемости). Визуальный контроль является чрезвычайно полезной процедурой, позволяющей определить ряд параметров, необходимых для характеристики ЗРИ [53], таких как физическое состояние источника, размеры и тип защиты или кожуха.

Визуальный контроль можно осуществлять с помощью зеркал, увеличительных стекол, биноклей, видеокамер с дистанционным управлением и иных устройств, и он настоятельно рекомендуется как средство получения первоначальной информации при условии соблюдения принципа ALARA («на разумно достижимом низком уровне»). При дистанционном визуальном

контроле источников и контейнеров могут использоваться эндоскопы, например в целях обнаружения маркировки ЗРИ, а также признаков влаги и коррозии внутри защитной оболочки отходов.

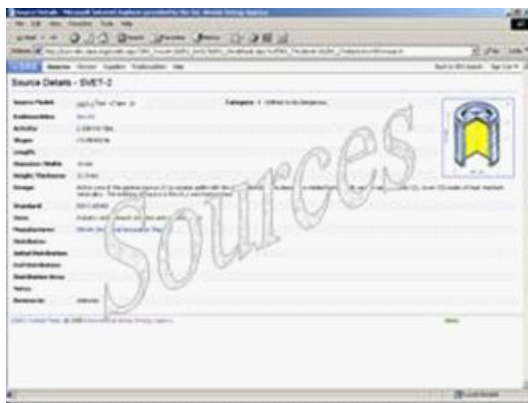
Идентификацию источника упрощает изучение связанных с ним защиты и оборудования. Во многих случаях маркировку также имеют соответствующие устройства и транспортный упаковочный комплект. На некоторых видах защиты упаковки маркировка категории не позволяет судить о количестве радиоактивного материала, типе излучения и опасности. Однако маркировка в любом случае должна содержать информацию о радионуклиде с указанием массового числа и активности. Понятие «категория» в контексте маркировки упаковки не следует путать с тем же понятием в системе категоризации МАГАТЭ, в которой оно отражает уровень опасности радиоактивного источника. Радиоактивные источники различного назначения имеют самые разные формы и размеры, однако специфика конструкции устройств или кожухов, внутри которых размещаются источники, может помочь в визуальной идентификации источника. В частности, предположение о типах радионуклидов закрытого радиоактивного источника и примерных уровнях их активности может быть сделано исходя из собранных в прошлом сведений о типичных конструкциях герметичных оболочек и корпусов.

МАГАТЭ разработало всеобъемлющую систему данных о ЗРИ. Система содержит данные собственно о ЗРИ, а также об устройствах, внутри которых они размещаются. Она имеет вид компьютерной базы данных под названием «Международный каталог закрытых радиоактивных источников и устройств» [54].

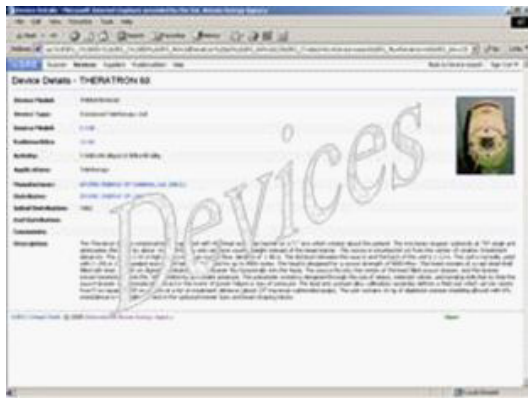
Каталог содержит необходимую информацию о различных лицах и организациях, связанных с промышленно производимыми радиоактивными источниками и устройствами, называемыми «моделями источников» и «моделями устройств». Он облегчает идентификацию источников и устройств в условиях наличия (или обнаружения) ограниченного объема информации о конкретных радиоактивных источниках или устройствах, что способствует повышению уровня безопасности при обращении с источниками.

В каталоге используется большое количество данных для получения информации о конкретном неизвестном источнике и устройстве, о котором имеются лишь разрозненные сведения. Вся информация содержится в трех основных связанных друг с другом базах данных.

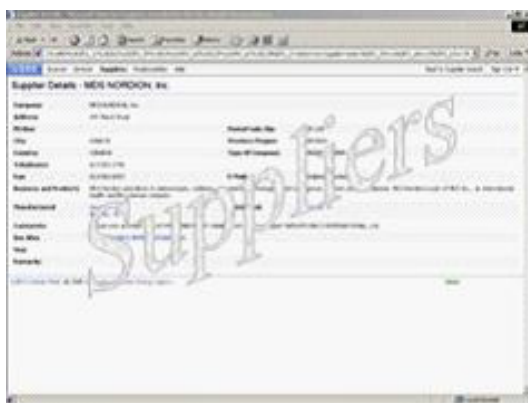
- Модели источников. Эта база данных содержит сведения о различных моделях источников (радионуклиды, активность, категория, форма, размер, особенности производства, применение, производители и поставщики и т.д.). На сегодняшний день в каталог включены 6800 моделей источников.



- Модели устройств. Эта база данных содержит сведения о различных моделях устройств, в том числе транспортных контейнерах (описание, области применения, производители и поставщики и данные о закрытых источниках, разрешенных для установки в устройство). На сегодняшний день в каталог включены 8000 моделей устройств.



- Поставщики. Эта база данных содержит адреса производителей и поставщиков ЗРИ и устройств, в которые они устанавливаются. На сегодняшний день в каталог включены сведения о 1200 производителях и поставщиках.



В каталоге имеется система идентификации (браузер), предусматривающая заполнение отображаемой на экране формы. После ее заполнения система выдает идентификационные данные наиболее подходящего источника или устройства.

Каталог предназначен для широкого круга пользователей, включая регулирующие органы, работающих с бесхозными источниками специалистов, производителей, поставщиков, службы аварийного реагирования, пользователей источников и устройств, правоохранительные органы, таможенные органы, пункты приема металлолома и металлургические заводы, а также компании и организации, занятые обращением с отходами.

Чтобы сделать каталог полезным для государств-членов, МАГАТЭ планирует на регулярной основе заниматься его ведением и обновлением, уделяя особое внимание вопросам обеспечения и контроля качества, а также испытаниям устройств в случаях, когда они включаются в каталог.

7.4. ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НЕДОКУМЕНТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Если вышеуказанные сведения отсутствуют, они должны быть получены путем использования различных методов характеристики. Разработку и использование системы характеристики рекомендуется осуществлять на основе надлежащей системы обращения. При этом система обращения должна гарантировать соблюдение экологических и технических требований, а также требований безопасности.

7.4.1. Требования к системе характеристики

Перед началом создания системы характеристики ЗРИ необходимо разработать спецификацию, описывающую требования к такой системе [55, 56]. Это может быть подробная спецификация на конкретное оборудование, если оператор считает его необходимым. Это может быть также функциональная спецификация с описанием поставленной задачи (включая выполняемые функции и требуемые результаты), на основании которой поставщик сможет самостоятельно сделать квалифицированный выбор системы. Например, в зависимости от поставленной задачи поставщик может предложить интегрированную систему или отдельные системы.

В процессе разработки спецификации необходимо уделить внимание следующим аспектам:

- a) сведения о ИЗРИ, включая их историю, возраст, предполагаемые радионуклиды и физическое состояние ЗРИ, матрицу отходов, включая материалы (например, поглотители нейтронов), что может влиять на методы измерений, и размеры упаковки;
- b) общие сведения о рабочем процессе, включая описание объекта, на котором будет действовать система характеристики, условия эксплуатации оборудования, ограничения по размерам оборудования, требуемую производительность, максимально допустимое время проведения измерений;
- c) сведения о подключаемом оборудовании (например, будет ли предлагаемое новое оборудование для характеристики использоваться совместно с уже существующим оборудованием);
- d) требуемая точность измерений, включая необходимую чувствительность и допустимые погрешности;
- e) приемочные испытания, которые необходимо выполнить на заводе-изготовителе и на предполагаемом месте размещения оборудования для проверки соответствия системы (включая программное обеспечение) своему будущему назначению;
- f) описание любых дополнительных процедур аттестации, которые будут проводиться заказчиком;
- g) уровень необходимой и имеющейся квалификации для эксплуатации оборудования;
- h) требуемый уровень технического совершенства оборудования, в частности допустимость использования инновационных технологий;
- i) необходимый запас запчастей, продолжительность ремонта неисправного оборудования, график технического обслуживания;
- j) бюджет (если он ограничен), а также выбор между вариантами аренды и приобретения оборудования;
- k) предоставление таблицы соответствия, показывающей, в каких случаях предлагаемое новое оборудование соответствует (или не соответствует) перечисленным выше требованиям;
- l) предоставление инструкций по эксплуатации оборудования и обучению персонала.

Оператор должен предоставить доказательства того, что все перечисленные выше моменты были проработаны. Исходя из этих требований необходимо разработать план характеристики ЗРИ, включающий обоснование выбранной методологии и методов. При этом необходимо принять во

внимание критерии приемлемости отходов, используемые на пункте хранения или захоронения, на который будут направляться изъятые из употребления источники. Помимо этого, план должен составляться с учетом ранее выбранных вариантов и методов извлечения и кондиционирования.

Все сведения об источнике должны быть собраны и упорядочены, чтобы при необходимости их было легко найти. Также необходимо предусмотреть наличие резервной копии этих сведений, хранящейся отдельно. Оператору следует регулярно выполнять проверки собранной информации на предмет ее соответствия действительности.

7.4.2. Работа с ретроспективными данными

Поиск, сбор и обработка ретроспективных данных являются первым этапом процесса характеристики [53]. При этом могут потребоваться консультации с бывшими или вышедшими на пенсию сотрудниками интересующей организации, которые могут предоставить важную информацию. Перечень мероприятий в рамках работы с ретроспективными данными может включать следующее:

- a) идентификацию ЗРИ;
- b) сортировку сведений о соответствующих ЗРИ, включая физические, химические и радиологические свойства, наименование производителя, чертежи, серийные номера, даты изготовления, пользователей ЗРИ, сертификаты испытаний на герметичность, измеренные мощности доз, материалы кондиционирования (при наличии);
- c) для прошедших кондиционирование ЗРИ — идентификацию источников, герметизированных в бетоне, пенополиуретане, твердом парафине и/или других материалах;
- d) идентификацию типов дополнительной защиты ЗРИ (например, свинец, цемент, обедненный уран);
- e) идентификацию упаковки, используемой для кондиционированных и некондиционированных ЗРИ (например, полиэтиленовые пакеты, специальные защищенные транспортные контейнеры, бочки, металлические и деревянные ящики);
- f) группировку ЗРИ для целей характеристики.

7.4.3. Характеризация методами неразрушающего анализа

Если поиск ретроспективных данных невозможен, следует принять все возможные меры для характеристики источников с помощью методов неразрушающего анализа (НРА), описанных в [53]. Если неразрушающий анализ источника, находящегося внутри соответствующего устройства, не дает достаточных данных для надлежащей характеристики ЗРИ, необходимо рассмотреть возможность поэтапного извлечения источника из устройства и защитных конструкций. В процессе извлечения и характеристики следует принять все необходимые меры предосторожности, чтобы связанные с этими операциями риски находились на разумно достижимом низком уровне.

Некоторые закрытые источники жесткого гамма-излучения могут быть идентифицированы путем измерения гамма-излучения [53]. К этой группе относятся следующие радионуклиды: ^{22}Na , ^{60}Co , ^{85}Kr , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{226}Ra , $^{239}\text{Pu-Be}$ и ^{241}Am . Некоторые составные источники нейтронов, например на основе $^{241}\text{Am-Li}$, $^{238}\text{Pu-Be}$, $^{241}\text{Am-Be}$ и $^{226}\text{Ra-Be}$, также могут быть идентифицированы по высокоэнергетическому гамма-излучению, возникающему в результате реакций $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$, $^9\text{Be}(\alpha, n\gamma)^{12}\text{C}$ и $^7\text{Li}(\alpha, \alpha\gamma)^7\text{Li}$. Помимо этого, идентификация источников нейтронов может осуществляться по высокоэнергетическому гамма-излучению, возникающему в результате реакций активации нейтронами (n, γ) материалов кожухов (например, алюминия, железа, титана) и материалов нейтронной защиты (например, борированного парафина). Радионуклиды ^{238}Pu и ^{239}Pu не идентифицируются по гамма-излучению в связи с его низкой интенсивностью в их случае.

Во многих случаях может возникнуть необходимость в использовании других, более сложных методов (например, гамма-спектрометрии [53]) для получения дополнительной информации.

Гамма-спектрометрия позволяет определить различные радионуклиды и, в ряде случаев, уровень их активности. Для целей количественного анализа необходимо знать уровень поглощения гамма-лучей матрицей отходов и/или защитным материалом ЗРИ; для этого обычно используется уже имеющаяся информация (например, геометрия измерений, плотность, состав матрицы) или измерения пропускания.

Перечисленные далее ЗРИ могут быть идентифицированы путем нейтронных измерений, пассивных и/или активных методов счета нейтронов [53]. В эту группу входят источники на основе $^{226}\text{Ra-Be}$, ^{238}Pu , $^{238}\text{Pu-Be}$, ^{239}Pu , $^{239}\text{Pu-Be}$, $^{241}\text{Am-Be}$, $^{241}\text{Am-Li}$ и ^{252}Cf . Наиболее часто в качестве детектора нейтронов в системах НРА применяется пропорциональный газовый гелий-3 счетчик, представляющий собой детектор тепловых нейтронов с замедлителем, в качестве которого используется, например, полиэтилен высокой плотности. Некоторые типы ручных измерителей мощности дозы нейтронов оснащены BF_3 -счетчиками, позволяющими обнаруживать источники нейтронов путем контактных измерений вокруг защитного кожуха или упаковки отходов.

В случае ЗРИ, не представляющих радиационной опасности и не имеющих значения с точки зрения безопасности будущего пункта захоронения после его закрытия, применение сложных и дорогостоящих методов характеристики представляется неоправданным.

7.4.4. Характеризация разрушающими методами

Разрушающие методы должны использоваться только в случае крайней необходимости. В случае передачи закрытого радиоактивного источника в лабораторию для выполнения разрушающего анализа он более не считается закрытым и в дальнейшем подлежит обработке и кондиционированию согласно соответствующим критериям приемлемости отходов. Более подробные сведения о методах отбора и анализа проб содержатся в [55, 56].

7.5. ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перед началом манипуляций с изъятymi из употребления источниками необходимо взять с них мазки для проверки на герметичность (см. рис. 45). Для выявления негерметичного источника путем анализа мазковых проб могут применяться детекторы радиоактивного загрязнения, реагирующие на альфа-, бета- и низкоэнергетическое рентгеновское и гамма-излучение.



РИС. 45. Взятие мазков для проверки источников на загрязнение.

7.6. ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

Большинство изъятых из употребления закрытых источников имеют сопутствующее бета- и/или гамма-излучение. Оно может быть обнаружено с помощью несложного оборудования, такого как торцевой или тонкостенный счетчик Гейгера-Мюллера. Наиболее предпочтительными являются сцинтилляционные детекторы, так как они обладают меньшим временем реакции. Этот простейший прибор неприменим или дает ненадежные показания в случае источников альфа-излучения и нейтронов, а также источников бета-излучения в защитном кожухе. Если предполагается наличие источников на основе таких радионуклидов, могут потребоваться приборы, чувствительные к альфа-излучению или нейтронам.

Измерение мощности дозы гамма-излучения является первичной процедурой, позволяющей установить наличие гамма-излучения, и при определенных условиях может быть использовано для оценки активности источника. Активность ЗРИ может быть рассчитана исходя из измеренной мощности дозы, коэффициента пересчета дозы в активность и радионуклидного состава ЗРИ, если он известен. Практика показывает, что для полной характеристики ЗРИ недостаточно только измерения мощности дозы, необходим также ряд дополнительных сведений, таких как радионуклидный состав, герметизирующие материалы, конструкционные материалы, матрица и защита.

В гамма-спектрометрии в большинстве случаев используются сцинтилляционные детекторы на основе NaI(Tl) (низкое разрешение), а также полупроводниковые детекторы на основе HPGe (высокочистого германия) (высокое разрешение) и CdTe (среднее разрешение). Уже в течение ряда лет на базе этих методов действуют самые различные приборы — от ручных устройств до специально устанавливаемых систем. Системы с низким разрешением требуют меньшего технического обслуживания и не нуждаются в охлаждении. Их недостатком является то, что они позволяют получить и проанализировать лишь простые спектры (менее десяти пиков с достаточным разрешением в энергетическом диапазоне 35–1500 кэВ). Тем не менее такие системы могут использоваться для идентификации ЗРИ в отходах прежней деятельности при условии, что уровень активности ЗРИ достаточно высок и с учетом того, что большинство ЗРИ содержат лишь один радионуклид. Системы со средним разрешением (на основе CdTe) являются хорошим компромиссом между системами с низким и высоким разрешением. Системы с высоким разрешением нуждаются в охлаждении (используется жидкий азот или электроохлаждение), обычно дорогостоящи, а также менее надежны, чем системы, работающие при комнатной температуре. Их преимуществом является способность отобразить чрезвычайно большое количество разных пиков гамма-излучения.

Наиболее сложными с точки зрения обнаружения и измерения являются защищенные источники альфа- и бета-излучения. Косвенные методы, базирующиеся на основных нуклидах, которые могут использоваться для характеристики типичных процессов образования и кондиционирования отходов, для характеристики ЗРИ неприменимы.

8. ОБРАЩЕНИЕ С ИСТОЧНИКАМИ

Обращение с источниками включает любые физические манипуляции с источником, в том числе перемещение, перенос, изменение местоположения, извлечение из контейнера или помещение в контейнер, разборку части оборудования, содержащего источник, извлечение источника из оборудования, измерение, осмотр или испытание.

Как говорилось в предыдущих разделах, закрытые источники содержат радиоактивный материал, чья концентрация гораздо выше, чем у других радиоактивных отходов, с которыми приходится иметь дело на установке. При планировании и осуществлении работ, связанных с обращением с источниками, необходимо учитывать возможное ухудшение ситуации, вызванное утратой контроля над загрязнением, и вероятность получения высоких доз облучения при обращении с источниками. При обращении с изъятыми из употребления источниками необходимо соблюдать правила производственной и радиационной безопасности.

Закрытые источники могут быть встроенной частью оборудования. Это оборудование может быть связано с тем или иным химическим/физическим процессом, и, чтобы избежать определенных опасностей, могут потребоваться специальные меры предосторожности. Закрытые источники могут иметь также уникальную химическую/физическую форму, которая может потребовать специальных мер предосторожности. Кроме того, источники могут быть негерметичными, и в этом случае опять же потребуются специальные меры радиационной безопасности.

8.1. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ

Пользователи должны обеспечить соблюдение всех требований радиационной защиты на национальном уровне и на уровне установки/объекта [11], а также наличие соответствующих средств контроля для снижения возможности рассеивания радиоактивного загрязнения и сокращения индивидуального облучения до минимума. Основные принципы, изложенные в данном разделе, применимы при обращении со всеми источниками, независимо от того, находятся ли они в эксплуатации, намечены к изъятию из эксплуатации или объявлены изъятыми из эксплуатации. Эти принципы применимы также ко всем этапам обращения с изъятыми из употребления источниками.

Установка, в которой используется источник, должна быть оснащена соответствующими средствами для обращения с источником, включая грузоподъемное оборудование, достаточное освещение и источники питания, а также измерительные приборы для дистанционного и ручного мониторинга радиации и загрязнения. Уровень сложности и технического совершенства средств обращения с источниками напрямую связан с потенциальной опасностью источников, с которыми ведется работа.

При обращении с изъятыми из употребления источниками необходимо принимать определенные меры предосторожности для предотвращения механического повреждения источника (например, при падении с высоты, ударе перегрузочной машиной или вилочным подъемником); обеспечения работоспособности систем безопасности держателя источника (например, исправности механизма блокировки источника); обеспечения радиационной защиты работников. Поэтому необходимо соблюдать общие правила безопасности, а также технику безопасности на производстве.

8.2. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Обращение с закрытыми источниками потенциально сопряжено с радиологическим риском. Он зависит от типа радионуклида, активности источника, его химической и физической формы,

физического состояния источника и возможности разгерметизации. Важно точно определить тип и характер всех возможных рисков до того, как начинать какие-либо манипуляции с источником. Перед выполнением той или иной процедуры обращения с источником необходимо произвести оценку дозы облучения, чтобы предусмотреть меры безопасности и радиационной защиты.

При планировании и осуществлении операций по обращению с источниками следует учитывать факторы, которые могут повлиять на безопасность источника и привести к потенциальному облучению работников и населения и/или загрязнению окружающей среды. Эти факторы необходимо принимать во внимание независимо от того, в каком виде находится источник: без экранирования, в контейнере, в транспортном упаковочном комплекте или в заводском корпусе/чехле, в котором он использовался в составе прибора. Планирование, отработка и осуществление всех операций по обращению должны проводиться совместно с персоналом по радиационной защите.

Помимо обеспечения радиологической защиты при обращении с источниками обычно требуется работать с тяжелыми, громоздкими предметами и перемещать их, использовать грузоподъемное и иное оборудование для перемещения материалов, а также использовать стандартные инструменты для открывания и закрывания контейнеров. Следует оценить все риски, связанные с техникой безопасности на производстве, и по мере необходимости использовать методы защиты.

Планирование должно включать:

- a) изучение лицензионной документации, выданной регулирующим органом, чтобы убедиться, что предстоящие операции по обращению с источником разрешены и все особые требования лицензии соблюдены;
- b) анализ характеристик объекта, чтобы убедиться в наличии соответствующих путей входа и выхода, в том, что системы экранирования и вентиляции в существующем виде приемлемы или могут быть усилены для удовлетворения особых нужд, что требования к инструментам и оборудованию определены и выполнены, что имеются зоны для складирования и хранения;
- c) определение источников, с которыми будет вестись работа;
- d) четкое определение выполняемых задач и их последовательности;
- e) наличие у операторов, выполняющих работы, соответствующей подготовки и квалификации и наличие среди них специалистов, обладающих конкретным опытом выполнения поставленных задач и обращения с источниками данного типа и уровня активности;
- f) определение надлежащих мер реагирования на инциденты или аварийные ситуации.

8.3. ОБЫЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ИСТОЧНИКАМИ

8.3.1. Сбор

При обращении с изъятым из употребления источником сначала его необходимо забрать у пользователя или из места, где он был извлечен, для безопасного хранения в ожидании решения о его дальнейшей судьбе. Эта работа обычно выполняется ЦОРО или аналогичной организацией, например национальным агентством по обращению с радиоактивными отходами. Перед тем, как забрать источник, необходимо собрать всю возможную информацию о нем.

При обнаружении бесхозного источника прежде всего необходимо обеспечить надлежащую защиту населения этого района. Тип и степень опасности бесхозного источника для населения будут зависеть как от самого источника, так и от условий, в которых находится, и поэтому в любых обстоятельствах наименее радикальная и в то же время наиболее эффективная защитная мера — это оградить население от воздействия источника. Вероятность внешнего и внутреннего облучения можно уменьшить, ограничив доступ к источнику и не позволяя людям приближаться к нему.

Доступ к бесхозному источнику на объекте может контролироваться путем установки барьеров, размещения знаков/надписей, укрытия источника, доведения информации до сведения лично или другими способами.

Надлежащий вывоз негерметичного источника представляет собой сложную операцию, поскольку она может привести к распространению загрязнения. Поэтому для выполнения этой операции, включающей проверку на герметичность, требуется квалифицированный и опытный персонал. Негерметичный источник должен быть помещен в транспортный пакет, а места работы с негерметичными источниками должны быть накрыты, например пластиковой пленкой, чтобы облегчить дезактивацию и предотвратить распространение загрязнения.

8.3.2. Разделение

Принимая во внимание необходимость оптимизации последующих операций по обращению с отходами (т. е. работоспособность погрузо-разгрузочного оборудования, экранирующего оборудования, оборудования мониторинга, упаковки, контейнеров для хранения), изъятые из употребления источники могут быть отсортированы и сгруппированы в зависимости от применяемого варианта обращения либо от характеристик источника (радионуклиды, период полураспада, активность, химическая и физическая форма) или уникальных типов источников (радиевые или нейтронные источники).

При сортировке/разделении источников необходимо сначала определить, установлен ли источник в устройство или нет. Необходимо отделить все источники, установленные в устройство и требующие его разборки, и поместить их в соответствующую зону хранения.

Следующая группа источников, которые могут быть обособлены — это низкоактивные источники с чрезвычайно коротким периодом полураспада, отвечающие требованиям государства-члена, которые допускают распад источника до падения активности ниже значений, фиксируемых приборами. Обычно в эту группу входят только источники, содержащие нуклиды с периодом полураспада менее 120 дней. После отделения устройств, требующих разборки, и удаления тех источников нуклидов, в отношении которых допускается утилизация после полного распада, оставшиеся источники можно отсортировать и разделить по совокупности характеристик, включая потенциальные варианты утилизации, особые типы источников и высокоактивные источники, которые исключают обращение при помощи инструментов с короткими или длинными рукоятками.

Оставшиеся источники могут быть рассортированы на новые группы для хранения и утилизации, как показано на рис. 46. Бета-гамма-источники и альфа-излучатели с коротким периодом полураспада (нетрансурановые) чаще всего утилизируются в пунктах приповерхностного захоронения по схожим схемам. Альфа-излучатели с длительным периодом полураспада в большинстве случаев, по-видимому, не подходят для утилизации в пунктах приповерхностного захоронения, и поэтому хранятся отдельно до тех пор, пока не представится подходящая возможность для захоронения. Нейтронные, радиевые и высокоактивные источники нуждаются в разделении в связи с особыми требованиями к их кондиционированию и обращению с ними.

Источники со схожими характеристиками, влияющими на их хранение и захоронение, следует помещать в общую упаковку. На этом этапе можно также ограничить заполнение контейнера содержимым таким образом, чтобы обеспечить соблюдение ограничений по активности и мощности дозы.

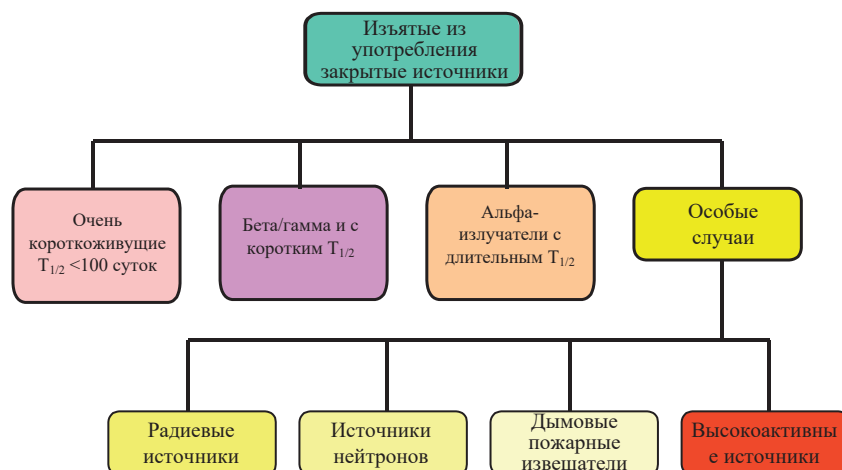


РИС. 46. Схема разделения изъятых из употребления радиоактивных источников.

Если источник поврежден, то возможная утечка должна быть локализована. Негерметичные источники необходимо отделить от прочих и собрать отдельно во избежание взаимного загрязнения. Устройства должны быть проверены на наличие загрязнения, а затем помещены в упаковку, соответствующую требованиям хранилища. Временную защиту устройств можно обеспечить, например, если обернуть корпус пластиковой пленкой или поместить его в мусорный бак или стальную бочку и плотно закрыть крышкой. Как правило, такие устройства могут храниться длительное время в дополнительной упаковке или без нее, пока не представится возможность для дальнейших операций с ними. В некоторых случаях требуется поместить несколько устройств в большие контейнеры для хранения. Необходимо составить и вести полную опись всех устройств в каждом большом контейнере и при необходимости передать ее в хранилище. За исключением соображений безопасности в случае высокоактивных источников и очень большого количества устройств, содержащих источники меньшего размера, обычно нет оснований извлекать источники из устройств для хранения, если утилизация невозможна.

8.3.3. Извлечение источников из устройств

Как правило, хранение и захоронение радиоактивного материала сопряжено со значительными расходами, поэтому при наличии большого количества ИЗРИ может быть рассмотрен вариант извлечения источников из вмещавших их устройств и объединения их с аналогичными источниками для хранения или захоронения. Это помогает уменьшить объем упаковок ИЗРИ, предназначенных для хранения или захоронения.

После извлечения из устройств источники могут быть перенесены в экранированный контейнер для хранения. Возможна стандартизация таких контейнеров и оптимизация мер безопасности и защиты. Однако необходимо соблюдать осторожность, чтобы в процессе извлечения не повредить источник или не нарушить его физическую целостность. При обращении с поврежденными и негерметичными источниками требуется особая осторожность, а также специализированное оборудование, обеспечивающее как экранирование, так и удержание.

Экранированный контейнер, в котором в конечном итоге будет размещен источник, должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечить приемлемую мощность дозы на поверхности и защиту источника согласно соответствующим нормативным положениям, а также свести к минимуму возможность несанкционированного извлечения источника. Для хранения источников эти контейнеры должны обладать большой емкостью и значительной гибкостью. По возможности в контейнеры должно помещаться что-то одно: либо источники, извлеченные из устройств, либо источники, остающиеся в устройствах. И то, и другое в один контейнер помещать не следует.

Извлечение источников из устройств, впрочем, предполагает манипуляции с неэкранированными источниками, требующие специальных знаний, правильно спроектированного защищенного рабочего места и инструментов для защиты эксплуатационного персонала от возможного повышенного радиационного облучения и радиоактивного загрязнения. Такие знания и инфраструктура имеются только в организациях, регулярно имеющих дело с неэкранированными источниками, например у производителей источников и устройств, персонала по техническому обслуживанию или персонала организаций, которые занимаются обращением с отходами и регулярно имеют дело с большим количеством изъятых из употребления источников. В принципе, по соображениям радиационной защиты при профессиональном облучении работа с источниками категорий 1 и 2 должна вестись только в специально оборудованных помещениях с горячей камерой или мобильных установках с горячей камерой квалифицированными и лицензированными операторами, предоставляемыми производителями источников и организациями по утилизации. Для обращения с неэкранированными источниками категории 3 и верхнего диапазона категории 4 также требуются специальные знания, оборудование и лицензии.

Необходимо всякий раз тщательно оценивать основания для извлечения источника из заводского контейнера. Источники, стратегия утилизации которых не определена, может быть целесообразнее оставить в устройствах до появления такой стратегии или до тех пор, пока место для хранения не начнет заканчиваться. Кроме того, никто не должен пытаться извлечь источники из подобных устройств без соответствующей подготовки и квалификации. Извлечение высокоактивных источников из заводских корпусов не предусматривается, если только это не абсолютно необходимо.

При подготовке к извлечению источника необходимо учитывать следующие соображения:

- a) желательно знать дозовое распределение в первоначальном оборудовании источника во включенном и выключенном положении;
- b) необходимо внимательно изучить руководство по техническому обслуживанию (особенно в том, что касается механизма перемещения ЗРИ, устранения неполадок и различных ремонтных работ), которое должно быть в наличии;
- c) инструменты, материалы, детали или специальное оборудование, необходимые для работы, должны быть в наличии и проверены;
- d) могут пригодиться данные о конструкции, схемы и любые фотографии/иллюстрации;
- e) источники питания и предохранительные блокировки механизма источника или другие инструменты и приборы должны находиться в положенном им включенном и выключенном положении, чтобы в результате постороннего вмешательства во время работы их нельзя было случайно включить или выключить;
- f) необходимо гарантировать центрирование затворного механизма источника и отверстия для выгрузки, чтобы при переносе источника не требовалось проводить прямой осмотр или ручную регулировку;
- g) необходимо хорошо изучить внештатные ситуации, вызванные заклиниванием механизмов, а решения таких потенциальных проблем должны быть найдены до начала самой работы. Следует иметь в виду, что максимальная защита обеспечивается при нахождении источника в заводском оборудовании или специальном экранированном контейнере.

8.3.4. Перемещение в пределах объекта

Перемещение в пределах объекта означает передвижение источника на объекте лицензиата. После объявления источника изъятным из употребления он должен быть удален с места эксплуатации и перемещен в зону хранения. Национальные правила перевозки обычно не распространяются на передвижение ЗРИ на объекте лицензиата, которое обычно регулируется местными правилами объекта. Следует отметить, что многие лицензиаты, особенно в небольших

компаниях с ограниченным числом сотрудников, имеют разрешение на использование источника, но не имеют права самостоятельно манипулировать им. В таком случае лицензиату необходимо заключить договор с внешней фирмой, имеющей соответствующее разрешение.

8.4. ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАБОТЫ С ИСТОЧНИКАМИ

В повседневной работе приходится иметь дело с радиоактивными источниками, заключенными в заводские устройства, транспортные контейнеры или в другую экранированную оболочку, которая защищает операторов от воздействия высоких доз облучения. Упаковки можно перемещать вручную или с помощью вилочного погрузчика. В особых случаях, когда требуется обращение с неэкранированными радиоактивными источниками, оператор должен находиться от них как можно дальше, чтобы минимизировать дозу облучения.

С точки зрения контроля загрязнения обращение с закрытыми источниками может казаться обманчиво безопасным. Даже старые источники, которые использовались в течение многих лет, могут выглядеть как новые. Нередко при обращении с источниками опытные операторы теряют бдительность, полагая, что источники целы и утечки нет. Пользователи должны считать источники и содержащие их устройства заведомо загрязненными, пока не доказано обратное.

8.4.1. Щипцы и временное экранирование

С низкоактивными источниками слабого излучения обычно можно работать вручную (рис. 47) или с помощью инструментов с короткими рукоятками, таких как щипцы и пинцеты (рис. 48). К источникам такого типа относятся источники для калибровки, источники, используемые в медицинских целях, контрольные источники, а также некоторые источники, которые используются в промышленных устройствах. При манипулировании с такими источниками защитный экран обычно не требуется.



РИС. 47. Ручное манипулирование с источниками.



РИС. 48. Инструменты с короткими рукоятками для ручного манипулирования с источниками.

С некоторыми источниками, активность и мощность дозы которых выше, чем у описанных ранее, также возможно ручное манипулирование при помощи соответствующих инструментов, таких как щипцы с длинными рукоятками (рис. 49), но при этом необходим защитный экран, чтобы снизить мощность дозы, получаемой оператором (рис. 50). Наиболее распространенными источниками этой группы являются источники для брахитерапии с НМД, содержащие цезий, и

источники в толщиномерах (^{85}Kr , ^{90}Sr), толщиномерах/уровнемерах (^{137}Cs), плотномерах (^{137}Cs), влагомерах (^{241}Am – Be – ^{137}Cs), костных денситометрах (^{109}Cd) и нейтрализаторах статического электричества.



РИС. 49. Длинные щипцы и манипулирование с источником с их помощью.

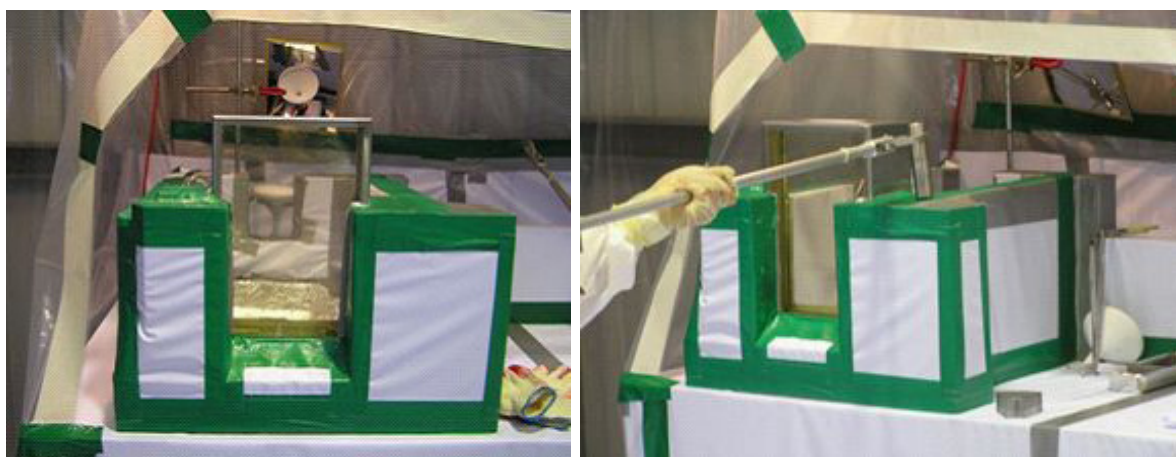


РИС. 50. Установка свинцового щитка и свинцового стекла и манипулирование с источником.

Для снижения дозы облучения работников во время обращения с источниками может с успехом применяться временное экранирование. При выборе и применении экранирования пользователи должны учитывать следующее:

- избыточное экранирование или установка щитков таким образом, что это мешает выполнению работ, может на самом деле подвергнуть работников повышенной дозе

облучения. Следует тщательно оценить потенциальный рост производительности труда в сравнении с потенциальным снижением дозы, обеспечиваемым экранированием, и найти правильный баланс между ними;

- следует выбирать подходящие для использования экранирующие материалы;
- при использовании экрана между пользователями и источником следует предусмотреть смотровые окошки из свинцового стекла или других материалов.

8.4.2. Вытяжной шкаф

Если необходимо работать с негерметичными/загрязненными низкоактивными или радиевыми источниками, то простым, безопасным и эффективным средством защиты оператора и предотвращения распространения загрязнения является вытяжной шкаф (или перчаточный бокс). Вытяжной шкаф — это защитный шкаф с отверстием, через которое оператор может осуществлять манипуляции внутри шкафа, и вытяжной вентиляцией, обеспечивающей постоянный отток воздуха из шкафа с достаточной скоростью, чтобы не допустить распространения загрязнения воздуха, образующегося внутри шкафа (рис. 51). При обращении с источниками с высокой мощностью дозы для снижения дозы облучения оператора внутри вытяжного шкафа может быть установлена временная перегородка из свинцовых кирпичей. Такой подход позволит минимизировать затраты и обеспечить безопасную рабочую среду для операторов с максимальной гибкостью.



Рис. 51. Перчаточный бокс для манипулирования с низкоактивными источниками.

В вытяжном шкафу в условиях ограниченного пространства оператор может максимально отдалиться от источников, используя пинцеты или щипцы с длинными рукоятками (рис. 52).

Следует отметить, что с помощью щипцов и пинцетов можно поднимать только легкие предметы (без особых затруднений — до 2 кг).

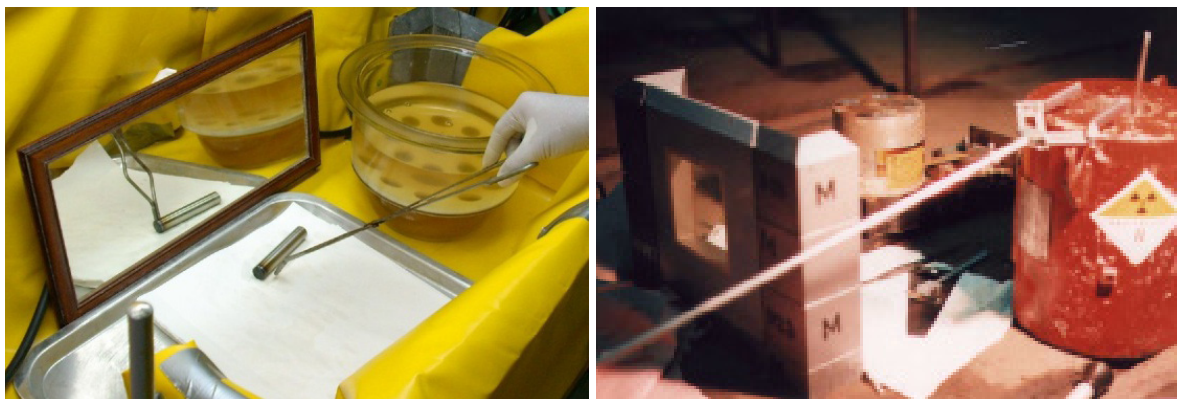


РИС. 52. Перемещение закрытого источника щипцами с длинными рукоятками.

8.4.3. Горячие камеры

Извлечь высокоактивный источник из оборудования на объекте пользователя не всегда представляется возможным. Это может быть связано с тем, что конструкция оборудования позволяет извлечь источник только в экранированной камере, или с нехваткой технической информации для безопасного выполнения этой операции вне экранированной камеры. В таких случаях необходимо отвезти источник в его рабочем кожухе в экранированную установку, такую как горячая камера, и извлечь при получении. Сложность конструкции горячих камер, оснащенных дистанционными/копирующими манипуляторами, сильно разнится, но в большинстве своем они вполне подходят для обращения с соответствующими источниками (рис. 53).

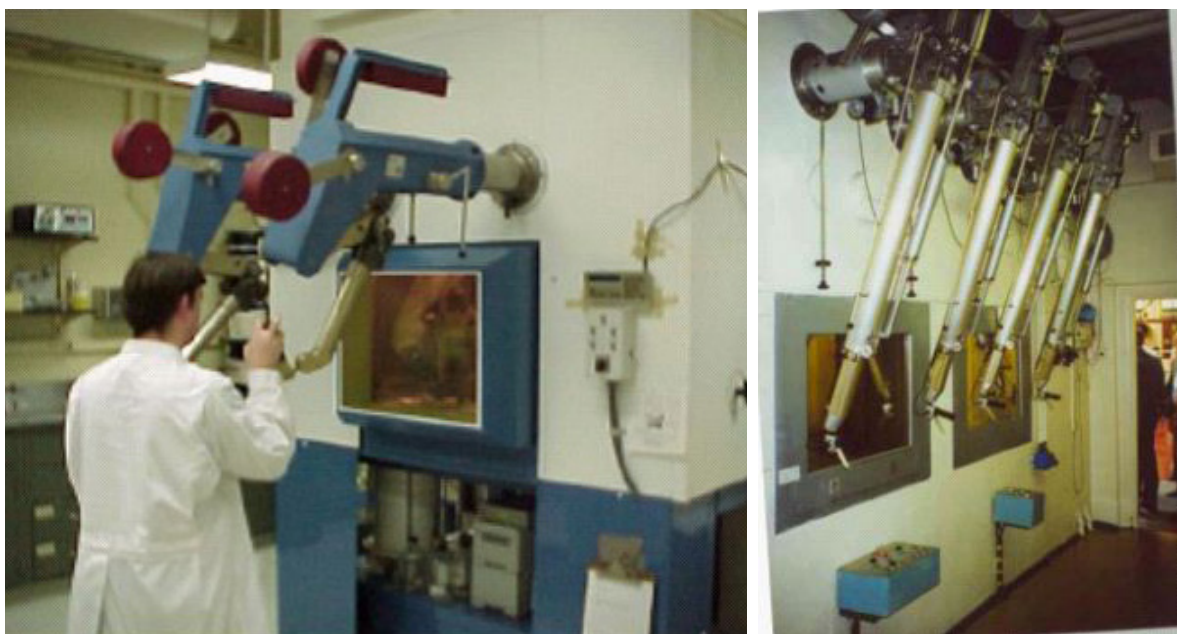


РИС. 53. Горячие камеры с дистанционными/копирующими манипуляторами.

8.4.4. Контейнеры

При перемещении изъятых из употребления источников на объекте лицензиата важно, чтобы они находились в первоначальном контейнере. Изъятые из употребления источники для оборудования радиологии или телетерапии необходимо надлежащим образом хранить в экранированном месте. Если используются контейнеры, отличные от первоначальных, то их конструкция должна учитывать геометрию источника, радионуклид, его активность и требования к обращению с ним. Пример типичного контейнера для перемещения на объекте показан на рис. 54.



РИС. 54. Контейнер для закрытых источников бета-гамма-излучения.

Контейнеры или устройства, используемые для перемещения ЗРИ на объекте, должны иметь соответствующую маркировку, предупреждающую о потенциальной опасности. Важно, чтобы предупреждающий знак был на местном языке, а также на языке, используемом производителем. Использование одного лишь знака в виде трилистника недостаточно, поскольку люди могут не понимать его значения.

Основные требования к конструкции контейнеров, используемых для перемещения ЗРИ на объекте:

- упаковка должна продолжать обеспечивать удержание и экранирование во время процесса перемещения. При воздействии физических нагрузок, вызванных процессом перемещения, контейнер должен быть закрыт механическим способом;
- максимальная мощность дозы на поверхности контейнера должна быть на разумно достижимом низком уровне и соответствовать требованиям лицензиата по радиационной защите. В любом случае максимальная мощность дозы не должна превышать пределов мощности дозы, указанных в Правилах перевозки МАГАТЭ, т. е. <2 мЗв/ч на поверхности и $<0,1$ мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности упаковки в любой момент во время перемещения [47];

- радиоактивное загрязнение поверхностей контейнера должно быть как можно более низким и соответствовать требованиям лицензиата по радиационной защите. В любом случае радиоактивное загрязнение не должно превышать пределов, указанных в Правилах перевозки МАГАТЭ: 4 Бк/см² для бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности и 0,4 Бк/см² для всех других альфа-излучателей.

8.4.5. Подъемно-транспортное оборудование

В зависимости от вида деятельности, размера и веса изъятых из употребления источников используется различное подъемно-транспортное оборудование. На рис. 55 показан пример оборудования, используемого для подъема тяжелой головки аппарата для дистанционной лучевой терапии.



РИС. 55. Крепление и подъем головки аппарата для дистанционной лучевой терапии.

Обычно для перемещения источника достаточно ручной тележки грузоподъемностью 500 кг. Для перегрузки источника с тележки в хранилище потребуется вилочный погрузчик с ручным управлением и захватом для бочек. Электрический вилочный погрузчик (рис. 56), безусловно, потребует меньше ручного труда и будет наиболее подходящим средством манипулирования с тяжелыми изъятыми из употребления источниками, а также с большим количеством источников в сжатые сроки. К вилочному погрузчику можно прикрепить навесную стрелу, которая позволит поднимать тяжелые источники (рис. 57), перемещать их по объекту и снимать с транспортных контейнеров защитные кожухи, а также поднимать такелажные ремни, скобы, цепи и рым-болты.



РИС. 56. Электрический вилочный погрузчик.



РИС. 57. Манипулирование с 200-литровой бочкой для отходов с помощью вилочного погрузчика.

8.5. ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ВЫСОКОАКТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Подготовка источника к хранению может проходить в двух формах: источник может быть удален с места эксплуатации и перемещен в хранилище, находящееся в ведении организации-пользователя (этот вариант применим к источникам категорий 1–5), либо помещен на безопасное хранение в месте эксплуатации (этот вариант рассматривается в основном для источников категории 1).

Если для источников категорий 1 и 2 выбран первый вариант, упомянутый выше, то для его реализации требуется наличие достаточной инфраструктуры (производственной и ядерной). Процесс на этом этапе не предполагает ни отделение источников от рабочего кожуха, ни отключение какого-либо блокирующего механизма или защитного устройства, и источник, таким образом, остается внутри защитного кожуха в закрытом виде. Перенос источника из рабочего кожуха в транспортный контейнер должен осуществляться квалифицированным персоналом согласно утвержденным инструкциям. Транспортный контейнер специально разработан для оборудования, в котором источник можно перенести в закрытом виде. Важно подчеркнуть, что на этом этапе операции эффективность первоначального кожуха и всех средств защиты/безопасности сохраняется.

Если оборудование, использующее источники категории 1, закреплено на объекте стационарно, то возможен вариант хранения на месте с сохранением источника в закрытом виде (рис. 58). Необходимо принять меры, гарантирующие, что источник продолжает находиться в закрытом виде и защищен от воздействия внешних условий, а возможность проникновения минимальна. На таком объекте должны проводиться регулярные инспекции. Если безопасное хранение источника (экранированное положение) обеспечивается благодаря мокрому хранению (в случае облучательных установок бассейнового типа), то в течение всего срока хранения должны поддерживаться надлежащее качество и уровень воды.

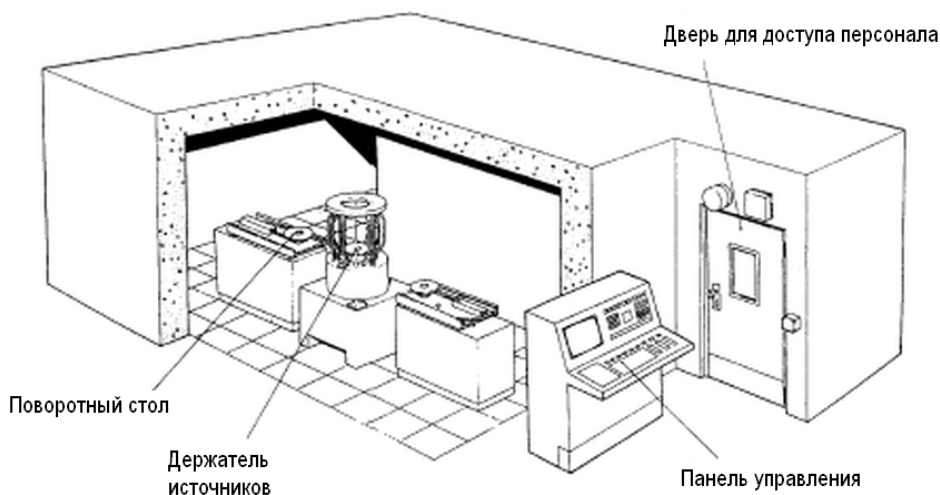


РИС. 58. Общий вид типичной облучательной установки с сухим хранением источников.

Источник категории 1 необходимо дополнительно защитить, добавив запорные механизмы, чтобы исключить его случайное открытие. При этом конструкция механизмов должна позволять впоследствии извлечь источник. К запорному механизму должна быть прикреплена долговечная бирка с указанием его функции, причины установки, с необходимыми предупреждениями или сведениями о мерах предосторожности, а также с указанием на любые инструкции и разрешения, которые могут потребоваться для их снятия.

9. ХРАНЕНИЕ

Хранение определяют как содержание радиоактивных источников, отработавшего топлива или радиоактивных отходов на объекте, который обеспечивает их изоляцию, с целью их последующего извлечения [1]. Оно по определению является временной мерой, которая может осуществляться на месте или в специально спроектированном и построенном хранилище. Из Кодекса поведения вытекает, что каждое государство должно следить за тем, чтобы закрытые источники не хранились в течение продолжительных периодов времени на объектах, которые для таких целей не предназначены. Выбор оптимального решения, касающегося сроков хранения в ожидании окончательного вывода из эксплуатации и захоронения, должен делаться стороной, несущей основную ответственность, по согласованию с регулирующим органом и с учетом конкретных условий на объекте [30].

Хранение ИЗРИ в помещениях пользователя (так называемое хранение на месте) может требоваться либо для того, чтобы в результате распада активность источника снизилась до уровней освобождения от контроля [11, 57–59], либо в ожидании его перевозки в другое место. С согласия соответствующего регулирующего органа источник, общая активность или объемная активность которого не превышает уровня освобождения от контроля, предусмотренного в ОНБ [11], может быть освобожден от некоторых или всех требований ОНБ в отношении уведомления, регистрации или лицензирования и может быть захоронен на разрешенном полигоне. Сроки хранения на местах должны иметь минимальную продолжительность, насколько это выполнимо на практике. Следует отметить, что хранение ИЗРИ на местах без соблюдения соответствующих требований — наиболее распространенная причина аварий и утраты контроля над источниками. Вместе с тем следует признать, что в ближайшее время, возможно, никакой реальной альтернативы хранению на местах так и не появится.

Вряд ли стоит рассчитывать на устойчивый характер мер административного контроля и безопасности на объекте пользователя в течение всего времени, необходимого для того, чтобы активность источника снизилась до требуемого уровня. Хранение на местах должно предусматривать планы по дальнейшей передаче источников, а во время нахождения в хранилище необходимо поддерживать их в состоянии, позволяющем на этом этапе осуществить перевозку и извлечение источника из корпуса.

Страны, в которых широко используются ЗРИ и во многих учреждениях имеются ИЗРИ, нуждаются в централизованном хранилище и надлежащей системе хранения ИЗРИ. Предлагаемый МАГАТЭ типовой проект централизованного хранилища ИЗРИ описывается в [60]. Следует подчеркнуть, что у большинства государств-членов нет надлежащих пунктов захоронения отходов, и поэтому в большинстве случаев в обозримом будущем единственным альтернативным вариантом обращения с ИЗРИ будет их долгосрочное хранение. На практике центральное хранилище обычно используется не только для кондиционированных ИЗРИ, но и для других образующихся в стране типов радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности.

Первым барьером, предотвращающим выброс радиоактивных веществ в окружающую среду, считается содержащая ИЗРИ упаковка. Наиболее существенную барьерную функцию выполняет, во-первых, сама капсула источника, а во-вторых — контейнер. Последним физическим барьером для выброса радиоактивности является здание хранилища. Оно должно обеспечивать достаточную защиту хранящихся в нем источников, чтобы срок службы их упаковок был оптимальным, для чего может потребоваться организация контроля и мониторинга внешней среды вокруг здания. Требования безопасности, направленные на защиту здоровья человека и окружающей среды, выполняются за счет надлежащего проектирования, сооружения, эксплуатации и технического обслуживания соответствующих объектов и надлежащего проектирования упаковок, предназначенных для хранения источников.

9.1. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ УПАКОВКИ ИЗРИ

Предполагается, что каждая упаковка отходов, содержащая ИЗРИ и предназначенная для хранения, должна соответствовать базовому набору требований (обычно называемых критериями приемлемости отходов (КПО) или требованиями по приемлемости отходов), которые устанавливаются оператором пункта хранения [61, 62]. Эти требования основываются на оценке безопасности и связанных с ней соображениях, а также на технологических и юридических аспектах. Данные требования обычно рассматриваются и утверждаются регулирующим органом или могут быть установлены самим регулирующим органом. Общие требования, касающиеся приемлемости помещаемых на хранение упаковок отходов, описываются в [61]. Применительно к ИЗРИ предназначенная для целей хранения упаковка должна отвечать следующим критериям:

- a) состоять из контейнера и помещенного в него источника и при необходимости иметь дополнительную систему удержания (например, облицовку или транспортный чехол), которая удерживает радиоактивное содержимое во время хранения и гарантирует, что выброс радиоактивного материала не будет превышать установленных пределов;
- b) иметь крышку с крепежными приспособлениями для предотвращения отсоединения крышки от корпуса контейнера во время обычных операций по манипулированию с источником и помещению его на хранение;
- c) обеспечивать, чтобы мощность дозы в случае контакта и уровень загрязнения соответствовали действующим на пункте хранения требованиям. Если упаковка загрязнена, должны приниматься меры для локализации загрязнения на протяжении ожидаемого срока промежуточного хранения. Для отдельных пунктов промежуточного хранения или их частей должна быть установлена максимально допустимая мощность дозы на поверхности каждой упаковки;
- d) обеспечивать достаточное пассивное охлаждение высокоактивных источников (тепловыделяющих отходов), если таковые имеются;
- e) обладать определенной механической прочностью, позволяющей штабелевать несколько упаковок (для конкретного хранилища должно быть определено их допустимое количество);
- f) обеспечивать возможность однозначной идентификации и иметь паспортную табличку, на которой указывается тип упаковки, серийный номер, вес и обозначение по реестру (примеры маркировки приведены на рис. 59).



РИС. 59. Маркировка упаковок, подготовленных для хранения и перевозки.

При наличии пункта захоронения отходов КПО хранилища необходимо сравнить с КПО пункта захоронения и выбрать для упаковок с ИЗРИ критерии, имеющие более ограничительный характер. На упаковки с источниками могут распространяться дополнительные требования, которые связаны с ограничениями или особыми условиями, имеющимися в пункте хранения, но отсутствующими в пункте захоронения отходов. Например, размеры и вес разрешенной для хранения упаковки могут быть ограничены в силу допустимой нагрузки на пол и размеров дверного проема.

9.2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПУНКТОВ ХРАНЕНИЯ

Функциональные требования к системе хранения должны учитывать все требования пользователей этой системы, в том числе их специфику и интересы; они должны основываться на поставленных перед такой системой целях и задачах. Требования безопасности, установленные в [27] в отношении защиты здоровья человека и охраны окружающей среды, применимы также к хранению радиоактивных отходов, в том числе ИЗРИ.

Требования к проектированию пунктов хранения отходов подробно описываются в [61–63]. Насколько это возможно, хранилище должно иметь простую и надежную конструкцию, минимальное инженерное оборудование, не иметь сложных автоматических систем, полагаться на средства пассивной безопасности и быть простым и экономичным в эксплуатации.

Общие требования к проектированию пунктов хранения ИЗРИ заключаются в следующем.

- a) Пункты хранения должны проектироваться таким образом, чтобы были сведены к минимуму вероятность возникновения инцидентов и аварий и их последствия. Должна быть предусмотрена возможность извлечения источников для их кондиционирования, восстановления или перемещения в случае аварии.
- b) Пункт хранения должен быть приспособлен к тому, чтобы поддерживать целостность самого источника и контейнера или устройства с ним до тех пор, пока они не будут отправлены в другое место (т.е. в пункт захоронения). Необходимо предусмотреть защиту от воздействия внешней среды, например дождя, влаги, наводнений и пожаров.
- c) Пункт хранения должен быть расположен обособленно и на удалении от рабочих мест или других мест, регулярно посещаемых персоналом или населением.
- d) Пункт хранения должен быть легкодоступным, в том числе для целей ввоза и вывоза источников (например, возможность подъема на лифте вместо использования лестницы).
- e) Необходимо принимать во внимание несущую способность перекрытий.
- f) Должны быть предусмотрены физические барьеры, защищающие от проникновения, которые могут включать, по мере необходимости, средства наблюдения, запорные устройства высокого класса взломостойкости, систему сигнализации, специально обученных охранников или любое сочетание вышеперечисленного. Меры физической защиты должны рассматриваться как единое целое в расчете на совокупный эффект от применения нескольких мер безопасности.
- g) Для указания на наличие радиоактивности и запрет несанкционированного доступа на здании пункта хранения и по его периметру должны присутствовать четкие обозначения и предупреждения. Предупреждающие знаки должны быть выполнены таким образом, чтобы для персонала был очевиден характер риска, с которым он может столкнуться. Такие знаки должны присутствовать даже в том случае, если предусмотрены меры физической безопасности, и быть написаны на языках, понятных тем лицам, которые могут входить в пункт хранения.
- h) Пункт хранения должен быть достаточно просторным для того, чтобы обеспечивать упорядоченное хранение источников и возможность визуальной идентификации их отдельных групп.

- i) На случай возможной дезактивации поверхности в пункте хранения должны были гладкими.
- j) Конструкция пункта хранения должна допускать раздельное хранение ИЗРИ и нерадиоактивного материала.
- k) Конструкция пункта хранения должна допускать раздельное хранение (в четко обособленных зонах пункта) источников, выдерживаемых на время радиоактивного распада, используемых источников и источников, непригодных для выдержки в целях распада радиоизотопов.
- l) Желательно, чтобы высокоактивные источники категорий 1 и 2 хранились на отдельном складе либо как минимум обособленно в четко обозначенной зоне. Лица, имеющие разрешение на доступ к этому складу или зоне, должны пройти соответствующий инструктаж, касающийся присутствия и опасности таких источников.
- m) Конструкция пункта хранения должна предусматривать экранирование (в виде стен или съемного экранирующего материала) для обеспечения того, чтобы мощность дозы в любой доступной точке внутри или снаружи пункта не превышала допустимых пределов, установленных регулирующим органом. Могут также применяться принципы самоэкранирования, для чего источники располагаются таким образом, чтобы обеспечивать защиту других источников. Если в пункт хранения должны часто входить работники, важно рассмотреть возможность монтажа соответствующих защитных экранов.
- n) Если имеется вероятность загрязнения воздуха радиоактивными веществами, в частности при хранении значительных количеств ^{125}I , ^{131}I или ^{226}Ra , необходимо предусмотреть соответствующие системы вентиляции.

Некоторые старые пункты хранения состоят как из надземных, так и подземных помещений. В целом, с точки зрения экранирования предпочтительным является подземное хранилище. Однако в подземной части отмечается повышенная влажность воздуха.

Немаловажно, чтобы пункт хранения были лицензирован регулирующим органом в случае, если он уже не включен в лицензию на эксплуатацию. В лицензии могут быть установлены некоторые особые требования к конкретному пункту.

9.3. ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУНКТОВ ХРАНЕНИЯ

Круг выполняемых в пункте хранения операций ограничен приемом, размещением, контролем целостности (если требуется), извлечением упаковок с ИЗРИ и подготовкой их к отправке. По существу, хранение — это пассивный процесс, рассчитанный на длительный период времени, в течение которого упаковки хранятся в ожидании извлечения до тех пор, пока не будет создан пункт захоронения. Все связанные с хранением операции должны выполняться в соответствии с утвержденными письменными инструкциями.

9.3.1. Прием и размещение

Чтобы ограничить распространение загрязнения и минимизировать воздействие ионизирующего излучения на работников, зоны хранения специально помечаются и эксплуатируются как контролируемые зоны. Должны быть доступны надлежащая защитная одежда и снаряжение, которые следует надевать/использовать по мере необходимости.

Прием ИЗРИ должен планироваться заранее. Оператор пункта хранения изучает соответствующую информацию, чтобы удостовериться в том, что упаковка источника приемлема для хранения, например, что она соответствует КПО пункта хранения. В случае ее неприемлемости соответствующие подробности должны быть задокументированы, а документы возвращены грузоотправителю с объяснением или запросом дополнительной информации. При наличии внешнего загрязнения упаковка должна пройти дезактивацию и повторную проверку перед приемом на хранение.

Как правило, планировка пункта хранения должна обеспечивать возможность штабелевания, сортировки и визуального осмотра упаковок. При приеме источников оператору пункта хранения необходимо подготовить соответствующую документацию на хранение источников. В пункте хранения должно быть определено подходящее место для упаковки ИЗРИ и задокументированы сведения о ее местонахождении. Упаковка должна быть помещена в отведенное для нее место. Желательно разделить источники, чтобы облегчить их извлечение в целях дальнейшего восстановления или любое незапланированное извлечение, которое будет сочтено необходимым по итогам периодических инспекций на предмет возможной деградации контейнеров источников, либо в случае, когда имеются конкретные категории источников, которые в конечном итоге планируется отправить в конкретные пункты захоронения. Необходимо обновлять данные о находящихся на хранении источниках и периодически проводить сверку содержимого пункта хранения с учетными документами.

На рис. 60 представлен пример раздельного хранения.



РИС. 60. Раздельное хранение радиоактивных отходов, включая ИЗРИ.

9.3.2. Дополнительное экранирование

Для упаковок, характеризующихся высокой мощностью дозы при контакте, либо для помещенного в хранилище большого количества упаковок с низкой мощностью дозы при контакте можно предусмотреть, помимо изначально заложенного в конструкцию хранилища экранирования, дополнительные средства экранирования.

9.3.3. Контроль целостности

Поскольку для всех возможных условий в будущем не может быть гарантирована долгосрочная эффективность инженерно-технических или естественных барьеров, препятствующих выбросу радиоактивности в окружающую среду, должна быть разработана программа мониторинга зоны хранения. Если это технически осуществимо, необходимо проводить мониторинг среды между отдельными барьерами (например, упаковкой, границами зоны хранения и границами объекта), чтобы можно было обнаружить миграцию радионуклидов задолго до того, как они распространятся за пределы объекта. В этом случае должны приниматься меры к тому, чтобы свести распространение радиоактивного загрязнения к минимуму. В связи с этим перед вводом

пункта хранения в эксплуатацию целесообразно выполнить начальные измерения фоновой радиоактивности и зафиксировать результаты. Периодичность мониторинга зависит от количества и типов хранящихся упаковок с ИЗРИ.

Программа наблюдений должна также предусматривать проверку эффективности системы вентиляции. В обязательном порядке должен осуществляться радиационный контроль и индивидуальный дозиметрический контроль.

9.3.4. Извлечение и отгрузка

После получения запроса на извлечение упаковки из хранилища оператору пункта хранения необходимо найти данные о конкретной упаковке в учетной документации пункта хранения и передать их соответствующей стороне. Если все данные в порядке, упаковка может быть допущена к вывозу из хранилища. После получения разрешения на снятие упаковки с хранения от оператора пункта хранения упаковка извлекается из хранилища и перемещается в зону отгрузки. Здесь перед вывозом производится радиологический контроль упаковки на наличие загрязнения и замер уровня радиации. Данные об упаковке переносятся в транспортную документацию, а сама упаковка поступает на перевозку в соответствии с правилами перевозки отходов [47]. В учетную документацию пункта хранения вносятся соответствующие изменения для регистрации даты отгрузки и сведений о принимающей стороне.

9.3.5. Системы физической защиты

Неотъемлемой частью пункта хранения должны быть системы физической защиты, предназначенные для предотвращения проникновения на объект. Типичная система защиты предусматривает средства задержки доступа, средства обнаружения несанкционированного доступа, а также систему сигнализации и реагирования. На рис. 61 показан пример защищенного пункта хранения. Его бесперебойная работа должна обеспечиваться эксплуатационным персоналом при любых предполагаемых обстоятельствах.



РИС. 61. Защищенный пункт хранения.

Чтобы предотвратить потери, которые могут быть обнаружены только спустя немалое время после изъятия хранящихся материалов, доступ к зонам хранения должен строго контролироваться. На складах физическая защита обеспечивается обычно путем запираения помещений. Количество

работников с правом доступа должно быть сведено к минимуму. Для обнаружения случаев несанкционированного доступа могут использоваться пломбы. С учетом общей обстановки в плане физической безопасности следует рассмотреть и другие надлежащие меры защиты (такие, как служба охраны, ограждение из колючей проволоки, камеры наблюдения, системы сигнализации и т.д.), а также возможность проведения регулярной инвентаризации. Необходимо регулярно проверять действенность системы защиты и обновлять данные о ней.

9.4. ПРИМЕРЫ ХРАНИЛИЩ, УСТРАИВАЕМЫХ НА ОБЪЕКТЕ

Могут быть предусмотрены самые разные альтернативные системы хранения, которые будут удовлетворять вышеупомянутые требования. В зависимости от количества подлежащих хранению источников форма их хранения может варьироваться от встроенного в пол сейфа или экранированного шкафа до специально оборудованного здания. В настоящем документе приводятся лишь несколько примеров, иллюстрирующих возможные варианты хранения. Пользователь может прийти к заключению, что один из этих вариантов удовлетворяет его индивидуальные требования, однако следует подчеркнуть, что с учетом местных условий могут подойти и другие варианты. Среди всех подходящих вариантов необходимо определить наиболее экономичный.

9.4.1. Встроенные в пол сейфы

Этот вариант, который подходит только для хранения небольших источников и ограниченного количества контейнеров малого размера, предполагает использование встроенных в пол сейфов — серийно изготавливаемого, недорогого, легкодоступного и зарекомендовавшего себя в плане защищенности изделия. Несанкционированное проникновение в этом случае весьма затруднительно. Демонтаж самого сейфа является крайне сложной задачей, особенно если сейф вмонтирован в фундамент здания. На рис. 62 представлена фотография типичного встроенного в пол сейфа.



РИС. 62. Типичный встроенный в пол сейф.

Такие сейфы вместимостью от 30 до 60 л обеспечивают защиту от различных попыток взлома, в том числе с использованием рычагов, кувалд, шлифовальных машин, дрелей, кислородно-ацетиленовых горелок и взрывчатых веществ. Они могут закрываться железобетонными крышками и таким образом превращаться в систему, обеспечивающую долговременное хранение в условиях, где предполагается ограниченный доступ и минимально необходимое наблюдение.

9.4.2. Защищенные от взлома помещения

Эта схема подходит для организации хранения упаковок любого размера. Защищенное от взлома помещение, как правило, имеет бетонные стены и оборудуется взломостойкой дверью, запорными устройствами высокого класса взломостойкости и охранной сигнализацией. Мало- и среднеразмерные упаковки могут размещаться на полках (рис. 63), а контейнеры большого размера ставятся на полу (рис. 64). В качестве дополнительной меры безопасности в защищенном от взлома помещении могут быть установлены встроенные в пол сейфы, каждый из которых способен вместить несколько небольших упаковок. Эта система позволяет организовать защищенное хранение большого количества источников, но при этом обеспечивает легкий доступ к ним в случае необходимости.



РИС. 63. Хранение ИЗРИ на полках.



РИС. 64. Хранение ИЗРИ на полу в защищенном от взлома помещении.

9.4.3. Бетонные бункеры/хранилища камерного типа

Железобетонный бункер или хранилище камерного типа, в зависимости от его размеров, может использоваться для хранения мало-, средне- и крупногабаритных контейнеров. В качестве недорогой, но надежной системы хранения мало- и среднегабаритных упаковок может использоваться сравнительно небольшой бункер вместимостью несколько кубических метров, оборудованный тяжелой крышкой.

Более просторное хранилище с тяжелой крышкой способно вместить крупные упаковки, а также упаковки малого и среднего размера, и является подходящим вариантом для тех случаев, когда организуется хранение большого количества источников (рис. 65). Путем заделки входа железобетонными конструкциями, вследствие чего будут требоваться минимальные меры наблюдения, такие бункеры при необходимости могут быть легко переоборудованы в места для долгосрочного хранения.



РИС. 65. Бетонное хранилище камерного типа для хранения ИЗРИ.

9.4.4. Сравнение систем хранения на объекте

В таблице 7 сравниваются различные характеристики описанных выше хранилищ [15]. Эти характеристики отражают ключевые особенности различных вариантов организации хранения, исходя из которых пользователи могут легко выбрать вариант, подходящий для них.

ТАБЛИЦА 7. СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ НА ОБЪЕКТЕ [15]

Тип	Сейф	Защищенное от взлома помещение	Защищенное от взлома помещение с сейфами	Бетонный бункер
Вместимость	Низкая/средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Стоимость	Низкая	Средняя	Средняя	Средняя
Универсальность (размер контейнера)	Ограниченная	Высокая	Высокая	Высокая

ТАБЛИЦА 7. СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ НА ОБЪЕКТЕ [15] (продолж.)

Тип	Сейф	Защищенное от взлома помещение	Защищенное от взлома помещение с сейфами	Бетонный бункер
Степень удержания	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Защита от излучения	Средняя	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Физическая защита	Хорошая	Хорошая	Очень хорошая	Хорошая
Доступность	Хорошая	Очень хорошая	Хорошая	Слабая
Необходимость наблюдения	Регулярно	Регулярно	Регулярно	Изредка

9.4.5. Возникшие проблемы и извлеченные уроки

9.4.5.1. Незащищенное и небезопасное хранение

Хранение в небезопасных условиях может привести к тому, что доступ к ИЗРИ (иногда очень высокого уровня активности) получит не имеющий на это права персонал, вследствие чего могут иметь место серьезные радиологические последствия. На рис. 66 показан пример небезопасных условий хранения: можно легко подойти к головке списанного аппарата дистанционной лучевой терапии (т.е. к радиоактивному источнику), который от коридора больницы отделяет только перегородка.



РИС. 66. Пример небезопасных условий хранения.

На объекте пользователя не рекомендуется производить извлечение источника из его держателя, рекомендуется только снятие держателя с соответствующего оборудования. При этом важно, чтобы диафрагма была установлена в положение «закрыто». Эти операции должны, однако, выполняться только персоналом, обученным использованию конкретного оборудования, так как при разборке безопасность держателя источника может быть нарушена. Разборка аппарата дистанционной лучевой терапии необученным персоналом может привести к радиационному облучению и физическим травмам (рис. 67).

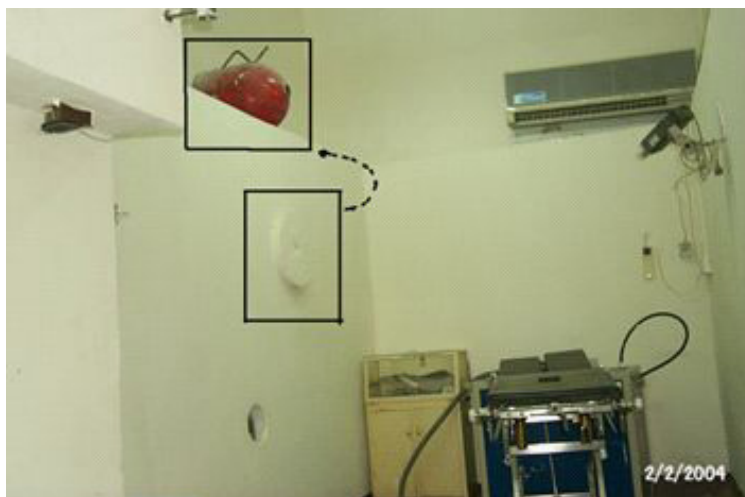


РИС. 67. Частично разобранный аппарат дистанционной лучевой терапии (головка была срезана, но пенал оставался в аппарате).

Если источник оставлен в установке, это может стать причиной возникновения потенциально опасной ситуации. Например, бывший кабинет лучевой терапии использовался персоналом больницы в качестве помещения для переодевания/складирования имущества (рис. 68). Персонал не отдавал себе отчета в том, что в этом помещении был оставлен радиоактивный источник ^{60}Co . К счастью, источник имел довольно слабое излучение, поэтому серьезного облучения не произошло, хотя пенал с источником не был переведен в положение хранения.



РИС. 68. Пенал с источником на основе ^{60}Co не был извлечен из аппарата дистанционной лучевой терапии.

В некоторых случаях хранилища не соответствуют требованиям безопасности, вследствие чего в них могут проникнуть посторонние лица и похитить источники или экранирующие материалы (рис. 69).



РИС. 69. Редко и нерегулярно посещаемый склад радиевых источников.

9.4.5.2. Неблагоприятные условия хранения

Неблагоприятные для хранения условия внешней среды, в том числе высокая влажность и колебания температуры, могут привести к деградации материала источника или контейнера вследствие коррозии (рис. 70) и к повреждению маркировки на источниках и контейнерах (рис. 71). Следует позаботиться о том, чтобы сведения об источнике не были утеряны и чтобы вся маркировка была защищена, а указанная в ней информация — записана при выполнении операций по перемещению.



РИС. 70. Контейнеры, подвергшиеся коррозии.

Кроме того, как показывает опыт, благоприятствующие развитию коррозии условия в хранилище могут приводить к повреждению держателя источника и выходу из строя затворного механизма, что может вызвать трудности при удалении источника.



РИС. 71. Повреждение маркировки на контейнере с источником.

9.4.5.3. Отсутствие предупреждения о радиационной опасности

Иногда пункт хранения не снабжается надлежащими табличками, предупреждающими о радиационной опасности (рис. 72). Например, информация на табличках не дублируется на местном языке, и местное население не осознает всех опасностей. Следует заметить, что иногда предупреждающие знаки на дверях администрацией специально не устанавливаются, чтобы не привлекать внимание людей, которые не понимают смысла этих знаков или надписи «радиоактивные вещества» и могут решить, что за закрытой дверью хранятся какие-либо ценные вещи. Это может спровоцировать проникновение посторонних лиц в расположенное на территории объекта хранилище.



РИС. 72. Здание хранилища без предупреждающего знака или таблички.

Дополнительный риск для персонала и населения в целом возникает в случае нерегулярного измерения уровней радиации и радиоактивного загрязнения.

9.4.5.4. Пожарная опасность

Если ИЗРИ хранятся вместе с другим нерадиоактивным материалом, например легковоспламеняющимся материалом, не исключена опасность их повреждения или возникновения пожара (рис. 73).



РИС. 73. Ненадлежащее хранение ИЗРИ.

9.5. ПРИМЕРЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПУНКТОВ ХРАНЕНИЯ

Созданные в государствах-членах централизованные пункты хранения подразделяются главным образом на две категории: наземные и подземные (заглубленные), часть которых изначально предназначалась для захоронения отходов. Наземные и подземные пункты хранения могут быть полностью или частично оборудованы инженерно-техническими средствами [61].

Подземное хранилище в основном предполагает размещение упаковок с отходами в обустроенных сооружениях приповерхностного (подземного) типа, часто имеющих твердое основание из бетона и засыпку соответствующим материалом, но позволяющих при необходимости извлекать отходы.

Наземное хранилище — это любое здание или сооружение, расположенное на поверхности и специально предназначенное для хранения упаковок с отходами. Конструкция наземных хранилищ во многих случаях выбирается исходя из необходимости работы с большими объемами отходов, упакованных в бочки или ящики. Такие склады могут принимать разные формы — от простых огороженных мест до высокотехнологичных объектов, имеющих экранирующие конструкции и дистанционно управляемое погрузочно-разгрузочное оборудование и оснащенных вентиляцией, системой сбора стоков и контрольно-измерительными приборами.

В прошлом, когда подходящие подземные или наземные пункты хранения отсутствовали, практиковалось временное хранение источников категории 1 на открытой площадке (рис. 74). Ввиду

незащищенности упаковок с отходами от воздействия внешней среды и неудовлетворительных условий физической защиты этот вариант хранения представляется ненадлежащим и неприемлемым исходя из современных требований технической и физической безопасности.



РИС. 74. Ненадлежащее открытое хранение РИТЭГ.

9.5.1. Подземное хранилище

Существуют различные варианты организации подземного (заглубленного) хранения ИЗРИ. В их число входят сухие хранилища, в частности хранилища скважинного типа (рис. 75), хранилища трубчатой формы (рис. 76) и экранированные хранилища камерного типа (рис. 77). Хранилища такого типа обеспечивают очень хорошую физическую защиту и экранирование хранящихся ИЗРИ. Чтобы организовать надлежащее хранение всего спектра изъятых из употребления источников, поступающих на пункт хранения, может быть предусмотрено использование сразу нескольких из этих вариантов.



РИС. 75. Подготовка и загрузка в хранилище скважинного типа ИЗРИ, содержащих ^{60}Co .

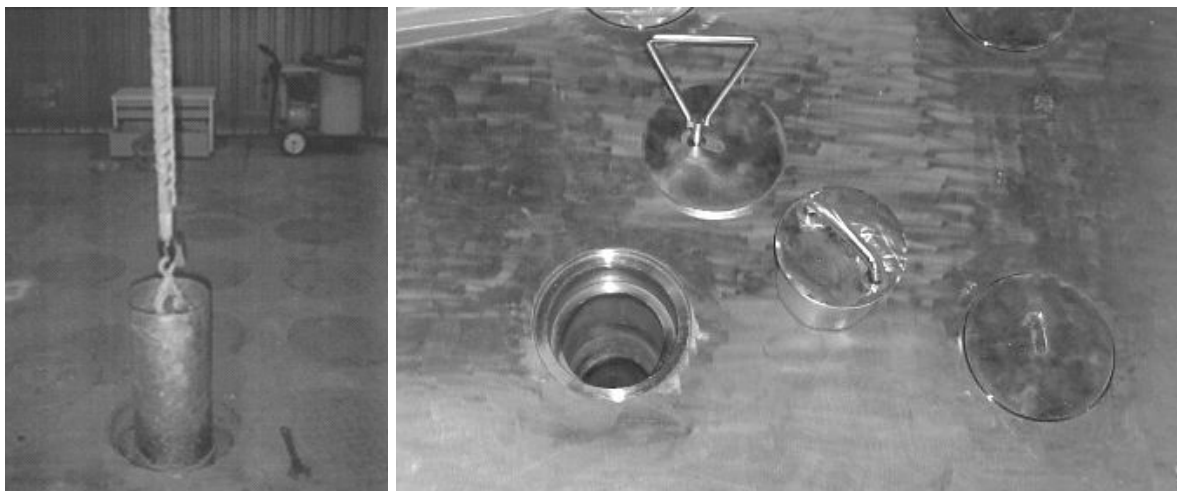


РИС. 76. Хранилище трубчатой формы для закрытых источников.



РИС. 77. Бетонные камеры, используемые для размещения бетонных контейнеров.

Вероятно, что после окончания периода промежуточного хранения контейнеры с отходами будут извлекаться в целях дополнительного кондиционирования и переупаковки перед захоронением. Практические моменты, которые необходимо учитывать при использовании этого подхода, касаются следующего:

- необходимости разделения источников при их размещении в хранилище;
- предельных значений тепловыделения, активности и мощности дозы для каждого контейнера и для хранилища в целом;
- необходимости извлечения, кондиционирования и перевозки консолидированных источников в будущем;
- обеспечения того, чтобы максимальный подъем уровня подземных вод не превышал отметку дна хранилища.

9.5.2. Наземное хранилище

Конструктивное исполнение оборудованных хранилищ для ИЗРИ может быть разным в зависимости от предполагаемого радиационного риска. Так, оборудованное хранилище для ИЗРИ категорий 3–5 может быть простым сооружением, например зданием на бетонном основании с металлическим каркасом и стенами и крышей из гофрированного металлического листа (рис. 78). Также широко используются строения складского типа, не предусматривающие проведение погрузочно-разгрузочных работ и не имеющие отопления и вентиляции.



РИС. 78. Пункт хранения отходов из легких конструкций.

Для длительного хранения ИЗРИ с высокими значениями мощности дозы на поверхности упаковки более приспособлены обустроенные хранилища более сложной конструкции с полным комплексом инженерно-технических средств. В таких пунктах хранения могут быть предусмотрены средства погрузки и выгрузки упаковок, экранирование бетоном (или иные аналогичные решения), возможность дистанционного контроля, системы вентиляции, контроля температуры, сбора стоков, а их поверхности могут быть специально подготовлены для облегчения дезактивации. Минимальное требование к таким хранилищам — это надлежащим образом экранированное строение складского типа с монолитным полом и соответствующими мерами безопасности для осмотра упаковок с отходами (рис. 79).

Одним из вариантов открытого хранения является помещение ИЗРИ в большой по размеру контейнер, что, по меньшей мере, обеспечивает более высокий уровень физической защиты находящихся в нем упаковок. На рис. 80 в качестве примера показан простой вариант хранения на открытой площадке (в стандартном грузовом транспортном контейнере).



РИС. 79. Хорошо оборудованное хранилище отходов.



РИС. 80. Крупногабаритные стандартные грузовые контейнеры.

Грузовой контейнер может быть установлен в подходящем месте, например на территории централизованного сборного пункта, небольшого ядерного исследовательского центра, атомной электростанции или режимного объекта, контролируемого государством. В зависимости от его размеров внутри него может находиться от 40 до 70 200-литровых контейнеров. Впоследствии, когда станет доступно хранилище, контейнеры могут быть сразу перевезены туда без нужды в дополнительной перегрузке.

Важно проконтролировать, чтобы на момент завершения периода хранения имелась возможность идентификации, извлечения и перевозки кондиционированных источников в пункт их захоронения. Упаковки должны располагаться по определенной системе, чтобы обеспечить их доступность и возможность извлечения в случае необходимости; при этом предполагается использование вилочного погрузчика или крана во всех зонах хранилища, а также возможность получения доступа к любой упаковке и ее извлечения.

9.5.3. Возникшие проблемы и извлеченные уроки

9.5.3.1. Подземное хранилище

Во многих государствах-членах для хранения ИЗРИ уже много лет используются подземные емкости (неглубокие скважины и камеры). В целом подземные хранилища предпочтительны с точки зрения экранирования и физической защиты. Однако некоторые государства-члены пересмотрели свое отношение к такой схеме хранения. Изначально некоторые объекты предназначались для захоронения ИЗРИ, и возможность извлечения из них источников не предусматривалась. На сегодняшний момент затраты на извлечение этих источников в сочетании с сопутствующими рисками показывают, что данный вариант нерационален, особенно для долгосрочного хранения ИЗРИ (в кондиционированном и некондиционированном виде). Вариант использования подземного хранилища может рассматриваться в ситуациях, когда сроки хранения весьма непродолжительны, а климатические условия благоприятны, то есть преобладает сухой климат, а хранилище расположено на удалении от населенных районов.

9.5.3.2. Наземное хранилище

Расположение пункта хранения

Некоторые пункты хранения были расположены в районах, подверженных потенциальному риску затопления (в низменных районах). В результате этого отмечались случаи повреждения контейнеров с ИЗРИ.

В отдельных случаях пункты хранения построены слишком близко к границе объекта, что ограничивает допустимую мощность дозы хранящихся в них изъятых из употребления источников и/или требует устройства в хранилище дополнительного экранирования. Это также ограничивает возможности по обращению с высокоактивными источниками в непосредственной близости от пункта хранения. В других случаях в связи с политическими изменениями, приведшими к созданию новых независимых государств, пункты хранения оказались расположены слишком близко к государственным границам.

Помимо технических и политических аспектов, которые должны учитываться при размещении пунктов хранения, имеются также вопросы, касающиеся приемлемости этих объектов для местного населения. Проблема приемлемости пункта хранения и соответствующих планов играет важную роль и может оказывать определенное влияние на технические аспекты.

Конструктивные особенности

Внешние условия хранения

Опыт прошлых лет показывает, что на одних объектах упаковки отходов с ИЗРИ могут храниться на протяжении десятков лет без какой-либо деградации, а на других объектах за тот же период времени отмечается ухудшение состояния упаковок отходов по прошествии определенного срока хранения. Деградация упаковок с отходами с течением времени становится очень серьезной проблемой, особенно в случаях, когда сроки хранения необходимо продлевать.

Опыт показывает, что существенное влияние на долговечность упаковок оказывает качество воздуха внутри хранилища. В зависимости от климатических условий внутри могут устанавливаться системы контроля качества воздуха. Также может устанавливаться оборудование для охлаждения или осушения воздуха, что помогает предотвратить или минимизировать внешнюю коррозию/деградацию контейнеров с отходами. При проектировании следует учитывать не только

условия, создаваемые в полностью заполненном хранилище, но и ситуации его частичного заполнения: при частичной и полной загрузке качество воздуха, движение воздуха и влажность могут существенно различаться.

Коррозионное разрушение упаковок с ИЗРИ во время хранения иногда происходило из-за механического повреждения контейнера в процессе обращения с ним. Такие повреждения могли варьироваться от царапин на краске, из-за которых ускорялась коррозия материала контейнера, до разрушения самого контейнера. Дефекты контейнера обычно становятся заметны на ранних стадиях хранения, и это является весомой причиной для того, чтобы разделить закрытые источники к моменту кондиционирования. Это позволяет избежать систематических проблем, связанных с обеспечением целостности контейнеров. Чем больше срок хранения ИЗРИ, тем более вероятно повреждение упаковки под действием внутренних или внешних факторов.

Опыт также показывает, что многие предназначенные для перевозки источников контейнеры для длительного хранения непригодны. Если соблюдение правил перевозки не столь актуально, например в случае длительного хранения, следует изучить возможность использования альтернативных и менее дорогостоящих способов хранения контейнеров.

Опыт прошлых лет также свидетельствует о том, что конструкция пункта хранения должна предусматривать некоторую гибкость, возможность модификации и расширения, особенно на тот случай, когда варианты окончательного захоронения (включая критерии приемлемости отходов) еще не проработаны и необходимо продлевать сроки хранения. В связи с этим целесообразно проектировать и возводить хранилища модульного типа, позволяющие при необходимости расширить складские площади. Такие модульные хранилища уже существуют в некоторых странах, в том числе в Соединенном Королевстве и Словакии.

Для увеличения вместимости складских помещений имеющие небольшие размеры контейнеры с источниками обычно укладываются в штабели. Старые источники часто упаковывались в нестандартные контейнеры, которые во многих случаях были непригодны для штабелевания. В целях облегчения укладки друг на друга и, таким образом, повышения эффективности хранения эти упаковки неправильной формы целесообразно помещать в стандартизированную (временную) транспортную тару.

В результате различной деятельности по эксплуатации пунктов хранения или в результате проникновения воды в хранилища в некоторых случаях образовывались небольшие количества вторичных жидких радиоактивных отходов, обычно очень низкого уровня активности. Это подтверждает необходимость установки соответствующей системы для сбора и обработки таких отходов. Аналогичным образом, в результате радиационного мониторинга (например, зондирования на предмет поверхностного загрязнения упаковок, внутренних стенок и днища), а также операций по манипулированию (например, защитная одежда) образуются небольшие количества твердых отходов. Проектом должны предусматриваться меры по их сбору и обработке.

Извлекаемость

Даже при условии проведения тщательной оценки нельзя исключать возможность повреждения отдельных упаковок или групп упаковок во время хранения. В прошлом было принято помещать ИЗРИ в скважины или бетонные бункеры, которые затем засыпались песком и заливались бетоном. Осмотр таких источников был попросту невозможен. Это существенно усложняло процесс извлечения таких источников, а добавление песка значительно увеличивало объемы радиоактивно загрязненных отходов, которые в итоге требовалось направить на захоронение. Данную практику нельзя считать приемлемой ни для краткосрочного, ни для долгосрочного хранения.

Техническое обслуживание

В прошлом имели место случаи разрушения строительных конструкций сооружений, используемых в качестве хранилищ. Причинами такого разрушения являлось использование строительных материалов с недостаточным сопротивлением старению, отсутствие контроля качества, неправильная планировка здания с точки зрения статической нагрузки, недооценка характеристик осадки конструкций или подземных сооружений и т.п. Замена таких разрушенных конструкций является сложной и дорогостоящей операцией и может потребовать временного перемещения контейнеров с отходами в другое место. Опыт показывает, что для уменьшения потребности в таких операциях материалы и методы, используемые при проектировании и строительстве, должны быть высокого качества. В процессе эксплуатации пункта хранения необходимо проводить тщательный осмотр строительных конструкций и регулярно контролировать их осадку.

К числу мер контроля может относиться измерение параметров конструкции и фундамента, а также регулярные осмотры, причем эти мероприятия должны планироваться заранее. Монтаж контрольного оборудования в зонах с высоким радиационным фоном сопряжен с рисками и должен предусматриваться еще на стадии проектирования. Нередко почти все пространство в хранилище заполнено контейнерами, что затрудняет обнаружение проблем.

К другим важным параметрам, которые необходимо контролировать, относятся работоспособность оборудования для охлаждения тех зон, где хранятся выделяющие тепло источники, а также работоспособность контрольно-измерительных приборов.

Доступ к хранилищу и упаковкам

В некоторых случаях старые хранилища проектировались и строились с одним общим входом/въездом для эксплуатационного персонала и транспортных средств, перевозящих радиоактивные отходы. Это послужило причиной некоторых аварий и входит в противоречие с правилами радиационной защиты. Извлеченные из этого уроки показывают, что вход/въезд в пункт хранения должен быть продублирован и упрощен.

Пункт хранения должен проектироваться таким образом, чтобы обеспечивать возможность доступа ко всем упаковкам отходов. Это имеет крайне важное значение не только с точки зрения упрощения размещения контейнеров, но и для обеспечения регулярного контроля и осмотра упаковок.

Средства связи

Многие пункты хранения расположены на удалении от других эксплуатируемых ядерных объектов, и их часто посещает только один сотрудник, что говорит о необходимости наличия средств связи. При проектировании объекта должны быть предусмотрены надлежащие возможности внутренней связи между персоналом, выполняющим работы, и центральным пунктом управления.

Регламент эксплуатации

Осмотр упаковок

Хотя практика прошлых лет не всегда допускала периодическое обследование хранящихся упаковок с ИЗРИ, в настоящее время осмотр и контроль содержимого пункта хранения должны производиться в обязательном порядке, кроме тех случаев, когда в отношении упаковок, с момента их формирования, применяется комплексная система менеджмента (ранее — система обеспечения качества).

Контейнеры должны допускать возможность проведения соответствующих манипуляций, контроля, осмотра и переупаковки источников. Для облегчения доступа к контейнерам, погрузочно-разгрузочных операций и проведения осмотра используется укладка в штабель, например вертикально друг на друга. Необходимо также осматривать и проверять погрузочно-разгрузочное и подъемное оборудование, поскольку оно подвержено коррозии так же, как и сами контейнеры с отходами. Для этой цели должны выделяться достаточные финансовые и людские ресурсы.

Заполнение складского помещения обычно производится от задней части к передней. При необходимости извлечения контейнеров наличие коридора или задней двери позволит сначала извлечь более старые контейнеры. В противном случае, чтобы добраться до старых контейнеров, придется освободить все складское помещение.

Имели место случаи накопления пыли внутри хранилища, что может затруднять доступ к упаковкам и требовать выполнения операций по очистке от пыли, которые могут быть весьма затратными с учетом соображений радиологической защиты.

Мониторинг внешней среды

Несмотря на принимавшиеся при проектировании и эксплуатации пунктов хранения меры по обеспечению герметичности и водонепроницаемости конструкций, имели место случаи проникновения воды. Установление пути проникновения воды в конструкции хранилища потребовало значительных усилий. Для выявления неконтролируемых выбросов радиоактивности из отходов, герметизированных, например, бетоном, требуется масштабная программа мониторинга подземных вод. В других случаях мониторинг среды дал доказательства того, что по прошествии многих десятилетий пункты хранения по-прежнему полностью выполняют свою функцию.

10. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Согласно Глоссарию МАГАТЭ по вопросам безопасности [1], кондиционирование — это операции по изготовлению упаковки отходов, приемлемой для манипулирования, перевозки, хранения и/или захоронения. Кондиционирование может включать перевод отходов в твердую форму отходов, упаковку отходов в контейнеры (герметизацию) и при необходимости обеспечение дополнительной наружной упаковки (транспортного пакета).

Кондиционирование ИЗРИ позволяет предотвратить распространение радиоактивных материалов, обеспечивает более высокую степень локализации негерметичных закрытых источников, создает достаточную защиту от излучения, оптимизирует пространство для хранения/захоронения за счет объединения нескольких источников в один контейнер для хранения/захоронения, облегчает операции по перевозке, а также способствует повышению безопасности и сохранности.

Возможность той или иной организации осуществлять кондиционирование изъятых из употребления источников частично зависит от параметров закрытых источников, конечной точки, применяемого процесса кондиционирования и имеющихся ресурсов и материалов.

10.1. ВЛИЯНИЕ ТРЕБОВАНИЙ, КАСАЮЩИХСЯ ПРИЕМЛЕМОСТИ УПАКОВКИ

В результате оптимального кондиционирования упаковка изъятых из употребления источников соответствует всем требованиям к перевозке, возврату в страну происхождения, хранению и/или захоронению, благодаря чему манипулирование с изъятых из употребления источниками производится только один раз. Эти требования могут частично дублировать друг друга, различаться или вообще не существовать. В любом случае специалист по кондиционированию источников должен убедиться, что упаковка, содержащая источники, полностью соответствует наилучшей инженерно-технической практике и учитывает опыт государства-члена. При принятии решения в отношении необходимого типа кондиционирования следует проконсультироваться с регулирующим органом и организациями, предоставляющими или планирующими предоставить услуги перевозки, хранения и захоронения.

Как правило, КПО касаются широкого спектра физических, химических и радиологических параметров, необходимых для безопасного и эффективного упаковывания отходов. Некоторые соображения относительно КПО для хранения ИЗРИ приводятся в разделе 9, для захоронения — в разделе 12. В Правилах перевозки МАГАТЭ [47] дается ряд частично дублирующих друг друга критериев, касающихся упаковок отходов, которые перевозятся с места производства или использования в пункт хранения и/или из пункта хранения в пункт захоронения. К ним относятся мощность дозы на поверхности упаковки, предельные значения поверхностного загрязнения, вес, размер, суммарная активность и структурная целостность. Поскольку проектный срок службы некоторых упаковок вне пункта захоронения ограничен, соблюдение КПО считается важной гарантией того, что и по окончании периода хранения упаковки отходов можно будет безопасно извлекать и перевозить.

В условиях хранения перед захоронением упаковка с ИЗРИ должна сохранять свою физическую и химическую целостность. Для соблюдения требований приемлемости отходов, установленных пунктом долгосрочного хранения, отработавшие источники может потребоваться извлечь из контейнеров, в которых они изначально перевозились/хранились, восстановить и переупаковать их. Оператор пункта хранения на основании своей лицензии может отказать в приеме упаковок, не соответствующих КПО. В настоящее время в большинстве стран упаковки отходов для изъятых из употребления источников проектируются исключительно для хранения, так как пунктов захоронения нет.

В дополнение к критериям приемлемости отходов для пунктов хранения и захоронения могут быть введены также требования к упаковке и сертификации в связи с потенциальной переработкой/повторным использованием и возвратом источников в страну происхождения. Государства-члены, активно занимающиеся кондиционированием источников для хранения и в настоящее время либо имеющие, либо не имеющие ясную стратегию захоронения, должны следить за тем, чтобы любые действия, предпринимаемые в процессе кондиционирования, были обратимыми для соблюдения, при необходимости, будущих требований к упаковке. Что же касается источников, возвращаемых в страну происхождения, то требования принимающих их государств-членов могут показаться чрезмерно строгими или сложными, однако их соблюдение — это обязательное условие для возврата источников.

10.2. СПЕЦИФИКАЦИИ УПАКОВКИ ОТХОДОВ

Спецификации упаковки отходов — это набор количественных параметров, которые необходимо соблюсти при производстве упаковки для ИЗРИ до хранения или захоронения [64]. Эти спецификации предназначены для контроля радиологических, физических и химических характеристик упаковки, которая будет произведена, переработана или принята от другой организации. В спецификациях отходов обычно указываются эксплуатационные характеристики упаковки отходов или предусматривается контроль процессов на действующей установке, и они могут использоваться в качестве контрактного средства для контроля операций по кондиционированию, выполняемых по субподряду. В спецификациях упаковки отходов, как и в КПО, должны учитываться желательные параметры пункта хранения/захоронения и правила перевозки и указываться соответствующие значения КПО или заменяющих их критериев, если КПО разработаны не были.

Если КПО, как правило, разрабатываются для конкретной установки или объекта и могут охватывать множество различных типов упаковки, то спецификации упаковки отходов относятся к конкретному типу упаковки и используются для определения характеристик и атрибутов отдельно взятой упаковки отходов. Окончательные спецификации упаковки отходов должны соответствовать значениям, используемым в оценках безопасности деятельности, особенно в оценках операций, предполагающих длительное хранение и захоронение.

При кондиционировании и хранении изъятых из употребления источников потенциальным слабым местом является сохранность информации о кондиционированном радиоактивном материале. Поэтому важно указывать всю соответствующую информацию как на внешней, так и на внутренней стороне упаковки, используя для этого достаточно прочный материал (нержавеющую сталь, алюминий, латунь или медь с выбитыми или выгравированными данными). Очень важно, чтобы уникальный идентификационный номер в архивных записях и на упаковке с отходами был одинаковым.

На табличках должна указываться следующая информация:

Герметизирующий контейнер	Уникальный идентификационный номер
	Изотоп
	Активность
	Дата загрузки
Временный контейнер (если операция прервана)	Уникальный идентификационный номер
	Этикетки и предупреждающие знаки о радиации утвержденного образца
	Изотопы и суммарная активность

Упаковка отходов

Уникальный идентификационный номер
Этикетки и предупреждающие знаки о радиации утвержденного образца
Изотопы и активность
Дата кондиционирования
Мощность дозы (на поверхности и на расстоянии 1 м)

Кондиционирование источников по принципу «один нуклид на контейнер» упрощает ведение записей и дальнейшие действия по обращению с отходами.

10.3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПУНКТОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Требования к пунктам кондиционирования будут разными в зависимости от объемов и характеристик источников, таких как характер радионуклидов, активность, химический состав и физическая форма источника, а также его вес и размеры.

Установки по кондиционированию могут быть отдельно стоящими или передвижными и располагаться вблизи пунктов хранения, чтобы упаковки реже приходилось перевозить между местами кондиционирования и хранения. В обоих случаях они должны быть расположены в соответствующим образом обозначенных радиологических зонах.

Пункты кондиционирования ИЗРИ должны обладать достаточными техническими возможностями для кондиционирования различных источников с учетом неясностей с наличием пунктов захоронения. К таким техническим возможностям может относиться оборудование для характеристики изъятых из употребления источников (детекторы излучения, счетчики и спектрометры) и для разборки устройств и других соответствующих конструкций, таких как горячие камеры. Если уровень активности изъятых из употребления источников достаточно низок, то с ними можно безопасно работать в перчаточном боксе или вытяжном шкафу с использованием соответствующих экранов и инструментов (см. раздел 8.2).

При проектировании пункта кондиционирования необходимо учитывать необходимость:

- a) защиты от радиационного облучения (посредством экранирования и локализации);
- b) контроля доступа в зоны кондиционирования и хранения источников и контроля перемещения между зонами излучения и зонами загрязнения;
- c) извлечения хранящихся упаковок;
- d) инвентарного контроля: архивирование проектов источников и контейнеров;
- e) осмотра упаковок с ИЗРИ;
- f) работы с упаковками с ИЗРИ, которые не соответствуют спецификациям;
- g) контроля за жидкими и газообразными отходами;
- h) вентиляции и фильтрации выбросов радиоактивных материалов в воздух;
- i) работ по техническому обслуживанию и окончательному выводу из эксплуатации;
- j) обеспечения противопожарной и противовзрывной защиты;
- k) предотвращения критичности и контроля соблюдения гарантий;
- l) контроля физической безопасности.

10.4. ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУНКТОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Кондиционирование изъятых из употребления источников — это деятельность, для которой необходимо получение соответствующей лицензии. При подаче заявки на получение

лицензии требуется, помимо прочего, предоставить документацию по техническому обоснованию безопасности. В лицензии на эксплуатацию должен определяться объем работ по кондиционированию, а также все особые требования, подлежащие соблюдению.

Должен быть апробирован детальный технический регламент с акцентом на реальные возможности, имеющиеся в каждой стране. Такая апробация гарантирует, что при проектировании и строительстве объекта, разработке технического регламента и во время самого кондиционирования будут соблюдены требования, касающиеся приемлемости.

В эксплуатационном регламенте, связанном с кондиционированием источников, необходимо учитывать вопросы гигиены и охраны труда. Важно обеспечить надлежащее планирование, подготовку и документирование процесса кондиционирования. Уровни облучения, радиоактивных выбросов и загрязнения должны быть ниже установленных пределов. Некоторые операции, такие как разборка, герметизация, сварка с дистанционным управлением, испытание сварных швов и проверка герметичности источника, должны проводиться в контролируемых зонах, предназначенных для этой цели (горячие камеры, перчаточные боксы и т. д.). С учетом условий на местах может быть разработан альтернативный регламент, но он должен соответствовать тем же требованиям безопасности. Все процедуры перед их введением должны быть проверены и утверждены.

Для перевозки и хранения кондиционированных изъятых из употребления источников мощности дозы на поверхности упаковки должны быть на допустимом уровне. Если рабочая зона или пункт кондиционирования расположены на удалении от хранилища (как это обычно бывает), то этот пункт должен быть оснащен соответствующим подъемным, перегрузочным и транспортным оборудованием с уделением должного внимания требованиям безопасности и технического обслуживания.

10.5. ВЫБОР МЕТОДА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

10.5.1. Критерии отбора

Существует большое число технических и иных факторов, определяющих выбор метода кондиционирования [52]. При планировании операции по кондиционированию изъятых из употребления источников необходимо учитывать следующие технические параметры и некоторые другие факторы:

- характеристики источника (тип ионизирующего излучения, активность, период полураспада, химическая токсичность);
- химическая и физическая форма радиоактивного материала;
- количество и физический размер изъятых из употребления источников и физическое состояние источников;
- соответствие нормативным требованиям (например, требованиям, касающимся приемлемости для хранения и/или захоронения, требованиям радиационной защиты и безопасности);
- период хранения, условия хранения и расположение пункта хранения/захоронения;
- тепловыделение, обусловленное материалом источника и/или методом кондиционирования;
- апробированные технологии кондиционирования;
- стоимость и ресурсы (оборудование, рабочая сила и материалы, необходимые для кондиционирования).

Относительная важность вышеупомянутых факторов будет зависеть от конкретной ситуации в стране.

10.5.2. Выбор материалов для упаковок отходов

Выбор материалов, используемых для кондиционирования, очень важен, поскольку капсула источника может повредиться под действием условий внешней среды, химических или физических факторов изнутри и извне. Процесс кондиционирования должен учитывать различные потенциальные проблемы, тем самым сводя к минимуму возможность разгерметизации.

Закрытый источник и его контейнер должны быть совместимы. В зависимости от характеристик источников и метода обращения, перевозки и хранения контейнер иногда должен также обеспечивать защиту от прямого излучения. При выборе материала для контейнера и его внешнего покрытия следует обращать внимание на удобство проведения дезактивации. Если контейнер первоначально проектировался без учета критериев приемлемости для перевозки, хранения или захоронения, потребуется дополнительный контейнер или транспортный пакет, соответствующий этим критериям. Следует обращать внимание на совместимость упаковки с ИЗРИ и транспортного пакета с точки зрения критериев приемлемости отходов.

Неправильное кондиционирование может привести к выбросу в окружающую среду радиоактивного материала, находящегося в изъятom из употребления источнике, в виде:

- газообразных продуктов (например, радона);
- жидкостей (водные растворы, продукты выщелачивания и т. д.);
- твердых частиц (порошок, аэрозоли и т. д.).

Материал для герметизации выбирается так, чтобы гарантировать надлежащее и эффективное удержание радиоактивного материала. Кроме того, выбранные материалы барьеров должны быть долговечными и способными выдерживать механические нагрузки и другие внешние воздействия.

Поэтому при выборе материалов для таких барьеров необходимо учитывать:

- механическую прочность;
- деградацию материала (срок службы барьера должен по меньшей мере превышать ожидаемый период хранения в зоне хранения или оптимальный период времени, предусмотренный планом обеспечения качества);
- воздействие радиации на материал барьера;
- устойчивость к коррозии и огнестойкость;
- непроницаемость для воды и влаги;
- продукты радиоактивного распада, особенно в газообразной форме;
- сохранность источников.

10.6. МЕТОДЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Общая стратегия обращения с изъятymi из употребления источниками описана в разделе 6. Было отмечено, что при отсутствии возможностей для переработки/повторного использования либо возврата производителю/поставщику и наличии места для захоронения изъятые из употребления источники должны быть захоронены в соответствии с применимыми требованиями как радиоактивные отходы. Если ни один из указанных выше вариантов реализовать невозможно, то изъятые из употребления источники необходимо поместить на хранение до тех пор, пока не представится подходящая возможность захоронения. ИЗРИ должны быть кондиционированы и помещены в упаковку согласно соответствующим требованиям приемлемости.

10.6.1. Изъятые из употребления источники на основе короткоживущих радионуклидов

В случае хранения в скважинах или трубах (см. раздел 9.5.1) ИЗРИ на основе короткоживущих радионуклидов помещаются в пенал из нержавеющей стали (диаметром 37 мм, длиной 500 мм) с двумя соответствующими экранирующими заглушками на концах. Затем пенал заваривается дуговой сваркой и проверяется на герметичность с помощью испытания на образование пузырьков. Для помещения пенала в трубы на хранение используется экранированный транспортный контейнер с нижней загрузкой, а сам пенал можно опускать и поднимать в положение хранения с помощью дистанционного управления. Перед процедурой загрузки транспортный контейнер выравнивается по трубе с помощью пустого пенала (рис. 81). Источники хранятся в нескольких контейнерах относительно небольшого объема по несколько источников в каждом контейнере. Извлечь отдельный контейнер довольно просто.



РИС. 81. Внутренняя вращающаяся часть погрузочно-разгрузочного контейнера типа В(У).

Как правило, во вращающуюся часть одного контейнера могут поместиться два-три рабочих пенала и один пустой. Преимущество этого метода заключается в том, что стандартный пенал можно использовать для ИЗРИ разного размера. Активность одного пенала зависит от экранирования, обеспечиваемого транспортным контейнером. Установки такого типа были разработаны как для низко-, так и высокоактивных ИЗРИ.

В Индии контейнеры с источниками, предназначенными для захоронения, помещаются в облицованные каналы — цилиндрические бетонированные стальные контейнеры с открытым верхом глубиной около 4 м. Внешняя поверхность покрыта бетоном и обработана гидроизоляционным материалом. Пустое пространство в облицованном канале заполняется цементным раствором. Сверху канал заделывается бетоном и затем гидроизолируется. Схема стандартного облицованного канала показана на рис. 82.

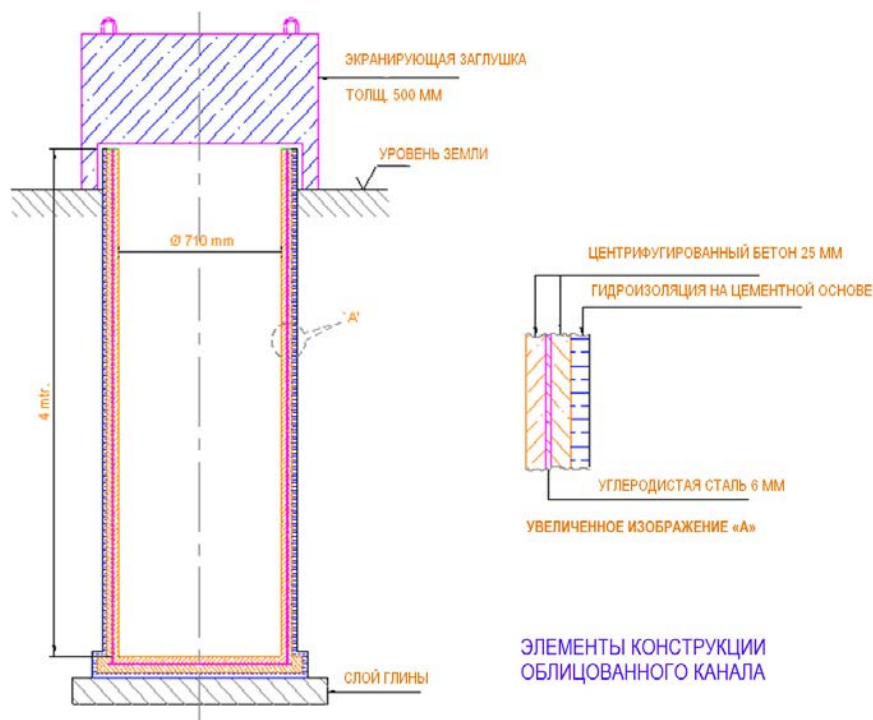


РИС. 82. Схема типичного облицованного канала.

10.6.2. Изъятые из употребления источники на основе долгоживущих радионуклидов

К наиболее распространенным долгоживущим радиоизотопами, содержащимся в закрытых радиоактивных источниках (ДИЗРИ), относятся ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{237}Np , ^{241}Am , ^{226}Ra (альфа-излучатели) и ^{14}C и ^{63}Ni (бета-излучатели). Примерами ДИЗРИ, с которыми можно работать без защиты, являются дымовые пожарные извещатели, молниеотводы и нейтрализаторы статического электричества, тогда как для безопасного обращения с источниками для брахитерапии на основе ^{226}Ra и ^{137}Cs требуется свинцовый экран.

10.6.2.1. Радий и другие ДИЗРИ

Существует хорошо отработанный метод кондиционирования перед хранением радиевых источников для брахитерапии (рис. 83–86) и других изъятых из употребления долгоживущих источников, в ходе которого источники помещаются в капсулы (чтобы их было проще извлекать из места хранения для окончательного захоронения в геологическом хранилище), которые завариваются и помещаются в экранирующий свинцовый контейнер (в случае длительного хранения с последующей перевозкой), который, в свою очередь, помещается в 200-литровую бочку из низкоуглеродистой стали с внутренней облицовкой из бетона [16, 18]. Бетон используется в основном для обеспечения физической защиты и сохранности источников. Такие упаковки обычно имеют минимальный вес около 350 кг, и для их перемещения и перевозки требуется механическое оборудование, например вилочный погрузчик. Такой способ кондиционирования обеспечивает барьер, не допускающий разгерметизации радиоактивных материалов, а также предотвращает несанкционированное изъятие источника благодаря большим габаритам, весу и прочности упаковки.

Капсула, используемая для герметизации долгоживущих источников, представляет собой трубку из нержавеющей стали с приваренной к одному концу крышкой (рис. 83). Необходимо

заранее подготовить таким образом несколько капсул, чтобы обеспечить наличие достаточного их количества для герметизации всех имеющихся источников. После помещения источника в капсулу из нержавеющей стали к другому концу капсулы приваривается вторая крышка.



РИС. 83. Стандартные капсулы из нержавеющей стали.



РИС. 84. Герметизация радиевых источников.



РИС. 85. Свинцовая защита для долгосрочного хранения.



РИС. 86. Упаковка радиевого источника перед закрытием.

В Российской Федерации и некоторых странах бывшего СССР и Восточной Европы разработаны и применяются несколько иные и специфические методы кондиционирования радиевых и других долгоживущих источников [65].

Вся соответствующая информация о кондиционированных источниках — радиоизотоп, дата кондиционирования, количество капсул, суммарная активность и т. д. — должна быть записана несколькими разными способами (например, в бумажных документах, электронных файлах, на крепящихся к упаковкам гравированных металлических табличках) и храниться компетентным органом.

10.6.2.2. Дымовые пожарные извещатели

Дымовые пожарные извещатели представляют собой особый случай в этой категории, поскольку отдельные устройства часто освобождаются от регулирующего контроля и допускается захоронение единичных источников на обычных свалках. Однако из-за большого количества этих устройств, рассеянных по стране, и длительного периода полураспада источников все чаще практикуется их сбор, извлечение (рис. 87) и консолидация для кондиционирования и последующего долгосрочного хранения [18].



РИС. 87. Сотни источников, извлеченных из дымовых пожарных извещателей.

Чтобы кондиционировать собранные источники, их можно поместить в канистры из нержавеющей стали и заварить. Во многих странах для приповерхностного захоронения альфа-излучателей в индивидуальных упаковках радиоактивных отходов установлен предел концентрации в 4000 Бк/г [66]. Хотя заваривание отдельных стальных канистр и может быть подходящим методом для того, чтобы замедлить или предотвратить выброс радона или других продуктов распада из хранящегося контейнера, в дальнейшем перед отправкой источников в пункт захоронения или хранения может потребоваться визуальная идентификация каждого источника, поэтому следует рассмотреть другие способы изоляции внутреннего контейнера. В одном государстве-члене извлеченная из дымовых пожарных извещателей фольга из ^{241}Am упаковывается в емкости, похожие на банки из-под краски, которые затем помещаются в стандартную бочку объемом 200 л для хранения перед захоронением.

10.6.2.3. Молниеотводы

Как правило, молниеотводы — это крупные устройства с небольшим закрытым источником внутри. С практической точки зрения целесообразно разобрать молниеотвод и извлечь из него источник (рис. 41, 88). Порядок разборки зависит в основном от уровня загрязнения разных частей устройства и технической возможности удаления радиоактивных частей (фольги или

таблеток) без образования вторичных отходов. Чтобы избежать загрязнения окружающей среды, закрытый пластиковый пакет со всем его содержимым (части устройства, источники, расходные материалы и т. д.) переносится в перчаточный бокс. Пакет вскрывается после закрытия перчаточного бокса.



РИС. 88. Пластины ^{226}Ra и ^{241}Am , извлеченные из молниеотводов.

Источники (фольга, полоски или керамические диски), извлекаемые из корпуса стержня молниеотвода, могут, как и радий, запаиваться в стальные капсулы согласно описанной выше процедуре.

10.6.3. Источники нейтронов

Основная отличительная черта кондиционирования источников нейтронов заключается в необходимости использования аттенуаторов, которые, помимо мощности дозы гамма-излучения, будут снижать мощность дозы излучения нейтронов. На практике источники нейтронов, включая Am-Be, Ra-Be, Pu-Be, обычно помещаются в капсулы особой формы, как указывалось выше, а те, в свою очередь, — в трубчатые контейнеры с внешним чехлом модели S-100 или S-300, описанные ниже. Важно помнить, что не во всех источниках нейтронов в качестве излучателя нейтронов используется бериллий. Он является наиболее распространенным элементом, используемым в сочетании с альфа-излучающим нуклидом, однако наряду с ним используются и другие элементы, такие как литий, бор, фтор и другие. В источниках нейтронов используется также калифорний-252. Этот нуклид, который распадается путем спонтанного деления, имеет гораздо более высокую интенсивность нейтронного излучения, чем любой из источников нейтронов, в которых оно происходит в ходе альфа-нейтронных реакций.

Для удаления источников нейтронов, содержащихся в устройствах, необходимо следовать инструкциям производителя устройства или руководству пользователя. Если инструкции отсутствуют, то устройства могут быть упакованы для перевозки в неизменном состоянии; в противном случае необходимо выбрать метод подготовки либо получения инструкций по разборке. Категорически запрещается извлекать источники из устройств, не имея специальных инструкций или порядка действий, предоставленных производителем устройства или другим осведомленным источником.

Возможно кондиционирование нейтронных источников при помощи трубчатых контейнеров с внешним чехлом модели S-300 или S-100. Они широко применяются для захоронения на

действующих пунктах захоронения, принимающих источники нейтронов, и, кроме того, сертифицированы для использования в качестве транспортного контейнера по Правилам перевозки МАГАТЭ.

В трубчатом контейнере с внешним чехлом для экранирования нейтронов применяется труба из нержавеющей стали, покрытая изнутри полиэтиленом высокой плотности, что снижает мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения на единицу объемной активности на внешней поверхности контейнера. Это позволяет загружать контейнер более активным материалом, соблюдая ограничения по мощности дозы внешнего облучения как при упаковке, так и захоронении. Этот контейнер имеется в продаже и имеет международную сертификацию как упаковка типа А.

Трубчатый контейнер с внешним чехлом модели S-300 состоит из отрезка трубы диаметром 30 см, помещенного в бочку емкостью 200 л, проложенную наполнителем из ДВП/фанеры и материалами для внутреннего экранирования нейтронов. Общая высота отрезка трубы составляет 70 см при внешнем диаметре 32 см. Отрезок трубы, помещенный в 200-литровую бочку, весит 195 кг. Корпус, крышка и болтовой фланец трубы изготовлены из нержавеющей стали. Для герметизации отрезка трубы используется кольцевое уплотнение из бутилкаучука или этиленпропилена.

Контейнер S-100 (рис. 89) состоит из отрезка трубы диаметром 15 см, помещенного в бочку емкостью 200 л, проложенную материалами для внутреннего экранирования нейтронов. Общая высота отрезка трубы составляет 70 см при внешнем диаметре 17 см. Отрезок трубы, помещенный в 200-литровую бочку, весит 220 кг. Корпус, крышка и болтовой фланец трубы изготовлены из нержавеющей стали.



РИС. 89. Трубчатый контейнер с внешним чехлом S-100.

Дополнительную информацию о характеристиках и закупках можно получить в Министерстве энергетики США.

10.6.4. Изъятые из употребления высокоактивные источники

Существует не так много вариантов кондиционирования изъятых из употребления высокоактивных источников [16]. Для работы с такими источниками и их кондиционирования требуются горячие камеры и дистанционные/копирующие манипуляторы, и извлечение источника из устройств нецелесообразно с практической точки зрения.

10.6.4.1. Извлечение держателя источника из устройства

Этот вариант рассматривается как временная мера или мера, принимаемая только в особых обстоятельствах. Например, этот вариант может быть единственно возможным, если при извлечении источников из их держателей экранированная установка недоступна, а держатель источника не помещается в соответствующий контейнер по размеру. В этом случае кондиционирование сводится к извлечению держателя источника (головки установки для дистанционной лучевой терапии, исследовательского облучателя и т. д.) из устройства с последующей перевозкой этого держателя в пункт хранения. В силу своих конструктивных особенностей и характеристик источника многие головки установок для дистанционной лучевой терапии и исследовательские облучатели были кондиционированы таким образом. Все устройства/держатели источников должны иметь маркировку и обозначение и храниться под надзором в интересах безопасности и сохранности.

10.6.4.2. Упаковка держателя источника в контейнер для хранения

Распространено использование бочек с внутренней облицовкой из бетона, стальных или бетонных ящиков для кондиционирования высокоактивных источников в держателях. Держатель источника может быть помещен в стандартный контейнер (рис. 90). Как правило, внутри бочки объемом 200 л отливается бетонная бочка объемом 100 л, а для более крупных изделий может использоваться более крупный внешний чехол, внутри которого формируется цементная бочка объемом 200 л. Бетонные или стальные ящики имеют преимущество перед бочками в том смысле, что их легче штабелевать и что они имеют гораздо больший объем и вместимость (рис. 91).



РИС. 90. Головка установки для дистанционной лучевой терапии перед кондиционированием в металлической бочке.



РИС. 91. Установки для дистанционной лучевой терапии до и после кондиционирования в металлических ящиках.

Для обеспечения извлекаемости держателя источника в целях его восстановления и дальнейшего захоронения он помещается в «карман» внутри контейнера, но не бетонируется. Этот метод обеспечивает достаточное экранирование, сохраняет вес упаковки, снижает вероятность несанкционированного изъятия и в то же время позволяет извлечь держатель источника без необходимости раскалывать залитый бетон, когда открываются новые пути утилизации.

10.6.4.3. Упаковывание источника, извлеченного из держателя

Источник может быть извлечен из держателя и помещен в подходящий контейнер. Извлечение источника из держателя производится в надлежащим образом оборудованной горячей камере (например, копирующими манипуляторами). Благодаря разборке можно уменьшить объем, подлежащий хранению и последующему захоронению. Это целесообразно при большом количестве источников. Конструкция контейнера для хранения должна определяться характеристиками источника и требованиями к перевозке. Горячая камера должна быть оснащена достаточно большой экранированной дверью, чтобы в нее проходил экранированный контейнер для хранения. Перед тем как поместить источник в горячую камеру, ее нужно проверить на загрязнение. Подъемное оборудование в горячей камере необходимо, в частности, для разборки старых держателей источников в случаях, когда источник не предполагалось извлекать.

Пустой держатель источника следует проверить на загрязнение, и если он чист, то его можно использовать повторно, переработать или утилизировать. Если держатель источника загрязнен, его необходимо дезактивировать до приемлемого уровня. Необходима особая осторожность в том случае, если держатель источника изготовлен из обедненного урана.

Экранированный контейнер для хранения может быть рассчитан на хранение нескольких неиспользуемых источников. Когда контейнер заполнен, для дополнительной защиты его можно поместить в бочку с внутренней облицовкой из бетона, как в описанной выше

процедуре герметизации. Или же для хранения нескольких источников может быть разработан неэкранированный контейнер, помещаемый в экранированное хранилище (например, скважинного типа).

Необходимо обеспечить сохранность всех помещенных на хранение высокоактивных источников, независимо от того, хранятся ли они в экранированных или неэкранированных контейнерах, чтобы предотвратить изъятие злоумышленниками источников из контейнеров или хищение целого контейнера из экранированного места хранения.

10.7. ПЕРЕДВИЖНАЯ ГОРЯЧАЯ КАМЕРА МАГАТЭ

МАГАТЭ сконструировало и эксплуатирует передвижную горячую камеру (рис. 92–94), которая используется для кондиционирования изъятых из употребления высокоактивных закрытых источников. С 2004 года МАГАТЭ оказывает помощь государствам-членам из Африки и Латинской Америки в извлечении источников из головок установок для дистанционной лучевой терапии и облучателей, а также в извлечении изолированных источников из различных экранированных устройств.

Конструктивные возможности установки позволяют осуществлять перенос источников в экранированный контейнер для хранения или в транспортные контейнеры, в зависимости от обстоятельств, для перемещения собранных источников в национальные хранилища, возврата в страну происхождения или захоронения. Горячая камера перевозится в двух стандартных контейнерах вместе со всеми инструментами, оборудованием и материалами, которые могут потребоваться для извлечения источника, и для ее работы требуется только электроэнергия, местная рабочая сила и песок для экранирования из местных источников.



РИС. 92. Передвижная горячая камера МАГАТЭ в собранном виде и готовая к работе.

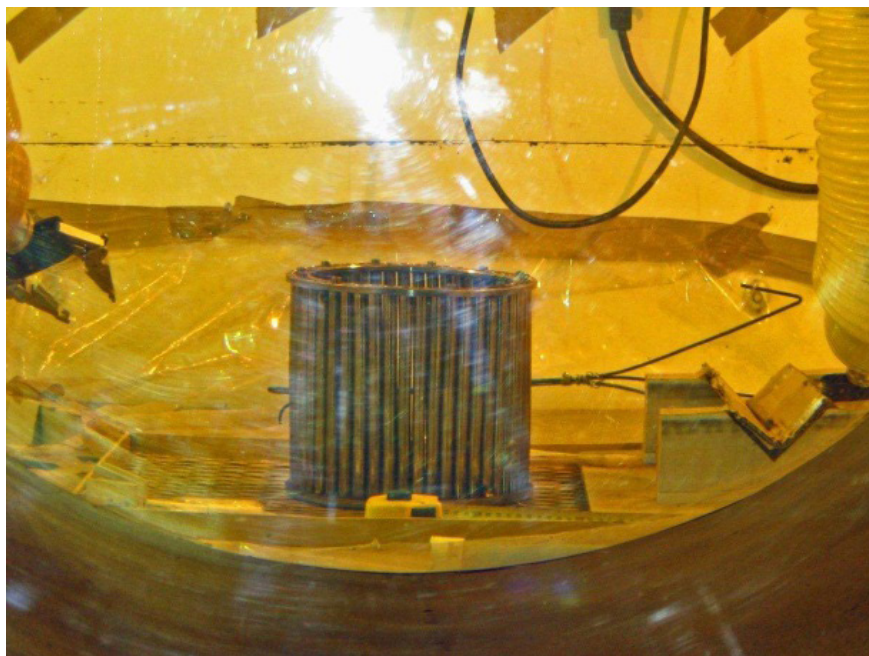


РИС. 93. Корзина с источником из исследовательского облучателя, вид через смотровое окно передвижной горячей камеры МАГАТЭ.



РИС. 94. Экранированный контейнер для длительного хранения, полностью присоединенный к люку для перемещения источников передвижной горячей камеры МАГАТЭ.

Из соображений экономии времени, сил и средств применение этой установки ограничено объектами, где имеется много высокоактивных источников, нет подходящих возможностей для дистанционного манипулирования, а охраняемых хранилищ мало или вовсе нет. После выбора оптимального метода кондиционирования тех или иных источников МАГАТЭ заключает контракты с государством-членом и его эксплуатирующей подрядной организацией на

планирование и осуществление операций по кондиционированию. Затем подрядчик перевозит горячую камеру и соответствующие контейнеры на объект, выбранный государством-членом, выезжает на объект и монтирует горячую камеру, используя по возможности местную рабочую силу и материалы, и выполняет кондиционирование источников из устройств, собранных на объекте. В идеале по завершении работ у государства-члена не должно остаться источников, но в реальности государство-член, скорее всего, возьмет на себя ответственность за долгосрочное хранение в национальном хранилище контейнера с оставшимися источниками, которые не могут быть отправлены на долгосрочную утилизацию, такую как захоронение или возврат в страну происхождения.

По своей концепции экранированный контейнер для долговременного хранения аналогичен многим транспортным контейнерам, используемым в промышленности для перевозки новых источников для головок установок для дистанционной лучевой терапии. В него могут поместиться четыре отдельных пенала для источников, каждый из которых может вмещать несколько источников из головок установок для дистанционной лучевой терапии или облучателей. Первоначальная конструкция и анализ безопасности контейнера для долговременного хранения предполагали вместимость 370 ГБк (10 000 Ки) ^{60}Co . Он может использоваться для перевозки и хранения источников, а также может перевозиться в сертифицированном транспортном пакете, отвечающем требованиям к упаковке типа В.

МАГАТЭ совместно с государствами-членами продолжает заниматься дальнейшим расширением возможностей транспортировки экранированного контейнера для долговременного хранения, чтобы контейнер типа В был сертифицирован для этих целей.

10.8. ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

10.8.1. Короткоживущие источники

В прошлом широко практиковалось помещение источников в бетон, т. е. заключение источника в упаковку типа А [15]. Источник в защитной оболочке помещался в середину бочки из низкоуглеродистой стали объемом 200 л с внутренней облицовкой из бетона и приваренными прутьями, которая заполнялась цементным раствором и закрывалась крышкой. В настоящее время этот метод не считается ни практичным, ни экономичным. При невозможности захоронить источник и отсутствии КПО для захоронения может потребоваться его восстановление, для чего его необходимо извлечь из бетона. Эта операция будет дорогостоящей и небезопасной. Если в будущем требования к захоронению будут допускать утилизацию упаковки в неизменном виде, это приведет к удорожанию утилизации в связи с размером и весом упаковок. В этой связи очень важно обладать исходной информацией о кондиционированном источнике, а также о технических процедурах, использовавшихся в процессе кондиционирования. В сфере кондиционирования наблюдается четкая тенденция как можно чаще использовать обратимые методы, если это практически целесообразно.

10.8.2. Долгоживущие источники

Кондиционирование для хранения источников на основе Ra, Am, Am–Be, Ra–Be и других долгоживущих изъятых из употребления источников включает этапы их герметизации в капсулах из нержавеющей стали. Благодаря такому методу герметизированные источники имеют небольшой объем и облегчается извлечение таких капсул из упаковок для окончательного захоронения в глубинных геологических хранилищах. В случае источников на основе Ra необходимо испытать капсулу на герметичность. Подходящие методы испытания на герметичность описаны в стандарте ИСО 9978 [22]. Предпочтительным методом является испытание на образование пузырьков в вакууме.

В прошлом некоторые производители использовали для герметизации радия стеклянные или кварцевые ампулы [18]. Вероятность утечки радонового газа из такой ампулы выше, чем из сварных капсул из нержавеющей стали. Для снижения этого риска и защиты ампул от механических нагрузок и других воздействий внешней среды необходима их дополнительная герметизация в стальных или латунных контейнерах.

Для кондиционирования других долгоживущих ИЗРИ, излучающих нейтроны, например на основе $^{226}\text{Ra-Be}$, $^{241}\text{Am-Be}$ и ^{252}Cf , в конструкцию защитного экрана упаковки, подготовленной для хранения, должны входить водородсодержащие материалы (например, полиэтилен высокой плотности, воск).

10.8.3. Высокоактивные источники

Операции, связанные с извлечением из держателя высокоактивного источника (категория 1–2), помещением его в другой контейнер, и некоторые другие операции, необходимые при кондиционировании высокоактивных источников, требуют наличия горячей камеры и высококвалифицированного персонала. Во многих государствах-членах с ограниченным опытом в ядерной области из-за отсутствия контейнеров утвержденного образца, горячих камер и рабочей силы кондиционирование таких источников затруднено или невозможно. На практике практически ни одна страна не занимается захоронением высокоактивных источников из-за отсутствия геологического хранилища. Это означает, что кондиционирование таких источников сводится к их подготовке к долгосрочному хранению [17].

В таких условиях единственным возможным решением этих проблем будет получение международной помощи, например по линии МАГАТЭ, которое предоставляет услуги кондиционирования и возврата высокоактивных источников в страну происхождения (см. раздел 10.7).

В Российской Федерации для повышения безопасности длительного хранения открытых высокоактивных источников, извлеченных из устройств и помещенных в контейнеры из нержавеющей стали, хранящиеся в приповерхностных скважинах в хранилищах радонового типа, разработана специальная технология кондиционирования на месте. Она предполагает постепенное заполнение контейнера для хранения металлическим сплавом с низкой температурой плавления [67].

11. ПЕРЕВОЗКА

Способ перевозки изъятого из употребления источника с объекта пользователя в центральное или региональное хранилище/пункт захоронения зависит, среди прочих факторов, от физического состояния, типа и активности источника, типа устройства, наличия подходящих транспортных упаковок, возможностей принимающего пункта по обращению с источниками и требований к кондиционированию и хранению.

11.1. ПРАВИЛА ПЕРЕВОЗКИ

Любая перевозка радиоактивных материалов по дорогам общего пользования должна осуществляться в соответствии с применимыми национальными правилами перевозки. Государства-члены обычно придерживаются Правил перевозки МАГАТЭ [47]. До начала фактической перевозки источников проводятся консультации с регулирующим органом. Если в стране нет официального органа, обладающего достаточными экспертными знаниями, может быть предоставлена помощь по линии МАГАТЭ.

Если источник имеет активность ниже значений A_1/A_2 , как указано в Правилах перевозки МАГАТЭ [47], допускается его перевозка в транспортных упаковках типа А. Упаковка типа А может представлять собой ящик, бочку или аналогичную емкость или даже являться цистерной, грузовым контейнером или контейнером средней грузоподъемности для насыпных грузов, содержащий материал с активностью до A_2 или до A_1 , если содержимое соответствует техническому определению «радиоактивный материал особого вида»:

«Радиоактивный материал особого вида — либо нерассеивающийся твердый радиоактивный материал, либо закрытая капсула, содержащая радиоактивный материал».

Для «радиоактивного материала особого вида» применяется значение A_1 (или значение A_2 , если это материал не особого вида). Например, для некоторых распространенных изотопов применяются следующие значения⁸:

— Кобальт (^{60}Co):	$A_1 = A_2 = 0,4 \text{ ТБк } (\sim 11 \text{ Ки});$	
— Цезий (^{137}Cs) ⁹ :	$A_1 = 2 \text{ ТБк } (\sim 54 \text{ Ки}),$	$A_2 = 0,6 \text{ ТБк } (\sim 16 \text{ Ки});$
— Иридий (^{192}Ir):	$A_1 = 1 \text{ ТБк } (\sim 27 \text{ Ки}),$	$A_2 = 0,5 \text{ ТБк } (\sim 14 \text{ Ки});$
— Стронций (^{90}Sr):	$A_1 = 0,2 \text{ ТБк } (\sim 5,6 \text{ Ки}),$	$A_2 = 0,1 \text{ ТБк } (\sim 2,7 \text{ Ки});$
— Америций (^{241}Am):	$A_1 = 10 \text{ ТБк } (\sim 270 \text{ Ки}),$	$A_2 = 1 \times 10^{-3} \text{ ТБк } (\sim 2,7 \times 10^{-2} \text{ Ки});$
— Калифорний (^{252}Cf):	$A_1 = 0,05 \text{ ТБк } (\sim 1,4 \text{ Ки}),$	$A_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ ТБк } (\sim 8 \times 10^{-2} \text{ Ки}).$

Можно предположить, что многие источники отвечают требованиям для отнесения к «радиоактивному материалу особого вида», особенно источники, изготовленные в соответствии с действующими стандартами. Такие требования касаются ограничений по размеру, испытания на ударную нагрузку, испытания на пробивание, испытания на изгиб и теплового испытания. Помимо технических характеристик, понятие «радиоактивный материал особого вида» означает правовую категорию, которая влияет на выбор варианта перевозки. Источник может рассматриваться как «радиоактивный материал особого вида» только при наличии действительного «сертификата об утверждении радиоактивного материала особого вида».

⁸ Значения в кюри являются приблизительными и приводятся здесь для тех, кому больше знакома эта единица измерения.

⁹ Значения A_1 и/или A_2 учитывают активность дочерних радионуклидов с периодом полураспада менее 10 суток.

Если удельная активность содержимого упаковки превышает значения A_1 или A_2 , требуется упаковка типа В. Подробное описание требуемых испытаний и другие критерии для транспортной упаковки типа А или типа В представлены в Правилах перевозки МАГАТЭ [47].

Упаковки типов А и В должны быть долговечными и иметь разборчивую маркировку на внешней стороне, а также табличку с обозначением соответствующей категории. Таблички с обозначением категории (включая символ ионизирующего излучения) размещаются на двух противоположных сторонах упаковки и должны быть хорошо видимыми и ничем не перекрываться (рис. 59). Предупреждающие надписи на транспортной маркировке и табличках должны быть составлены, в зависимости от обстоятельств, на языке, предписанном национальными правилами перевозки. Транспортные средства, а также крупногабаритные грузовые контейнеры снабжаются соответствующими предупреждающими знаками, которые крепятся к каждой боковой и каждой торцевой стенке (рис. 95):

«Изъятые из употребления источники, в отношении которых соответствие другим положениям Правил перевозки является практически неосуществимым, не должны перевозиться иначе, чем в специальных условиях. Если компетентным органом признано, что соответствие другим положениям настоящих Правил является практически неосуществимым и что установленные настоящими Правилами обязательные нормы безопасности соблюдены за счет применения средств, альтернативных другим положениям настоящих Правил, компетентный орган может утвердить операции по перевозке в специальных условиях единичной партии или запланированной серии нескольких грузов. Общий уровень безопасности при перевозке должен быть по меньшей мере эквивалентен уровню, который обеспечивался бы при выполнении всех применимых требований. Для международных грузов такого типа должно требоваться многостороннее утверждение» [47].



РИС. 95. Размещение предупреждающих знаков на транспортных средствах, используемых для перевозки ЗРИ.

11.2. ВАРИАНТЫ ПЕРЕВОЗКИ

Существует два возможных варианта перевозки изъятых из употребления источников: перевозка источника в заводском держателе либо перевозка после его извлечения из держателя (рис. 96).

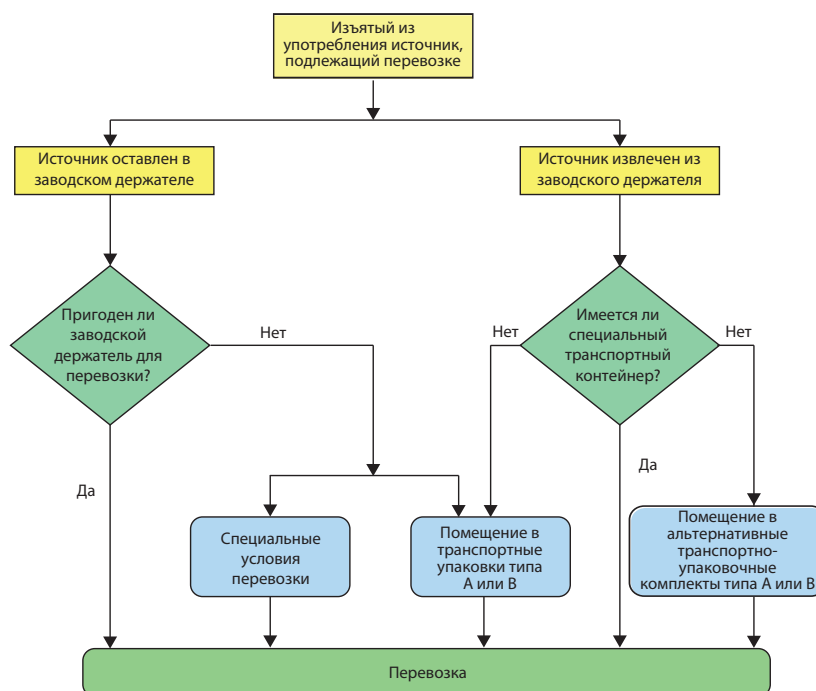


РИС. 96. Возможные варианты перевозки изъятых из употребления закрытых источников.

В последующих подразделах рассматриваются различные возможности для организации перевозки изъятых из употребления источников. Хотя в настоящей публикации довольно подробно рассмотрены различные варианты, обязательным условием в любом случае является одобрение выбранного(ых) пользователем варианта(ов) со стороны регулирующего органа.

11.2.1. Источник оставлен в заводском держателе

В этой ситуации возможны два варианта перевозки.

11.2.1.1. Транспортировка в заводском держателе источника

В некоторых случаях при условии соблюдения действующих правил перевозки держатель источника может быть квалифицирован как транспортная упаковка типа А или типа В. Такой подход, безусловно, безопасен, удобен и экономически эффективен для пользователя, так как он минимизирует получаемую при обращении с источником дозу облучения и делает ненужной транспортную упаковку. Это также может быть удобно с точки зрения принимающего предприятия, поскольку до тех пор, пока критерии приемлемости отходов для пункта захоронения не предполагают извлечения источника из держателя, доза облучения остается минимальной. Даже если перед долгосрочным хранением или захоронением источник должен быть извлечен из держателя, принимающее предприятие, скорее всего, лучше справится с этой операцией, чем пользователь. На рис. 97 показаны примеры заводских держателей радиоактивных источников, используемых в качестве транспортных упаковок.

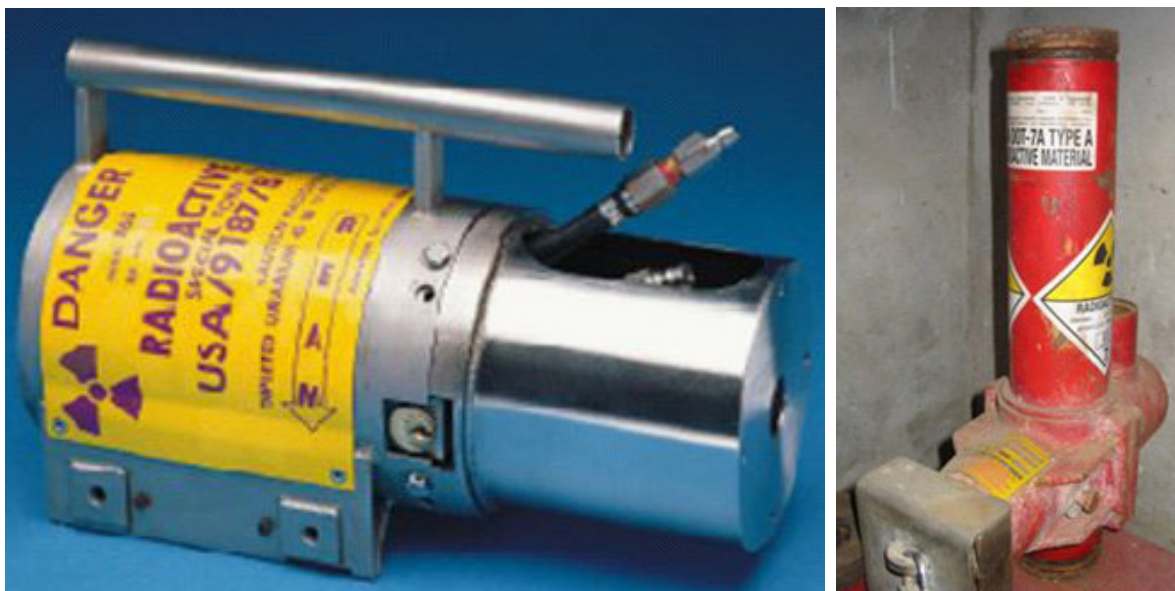


РИС. 97. Примеры использования в качестве транспортной упаковки заводского держателя радиоактивного источника.

Если заводской держатель источника не может выполнить роль транспортной упаковки, а перевозка источника необходима, соответствующее разрешение может быть выдано в рамках специальных условий. В качестве альтернативы сертификату об утверждении в отношении специальных условий соответствующий компетентный орган вправе рассмотреть вопрос о продлении на короткий срок действия первоначального сертификата на перевозку, чтобы дать зеленый свет перевозке изъятых из употребления источников. Для определения и оценки приемлемых параметров, позволяющих осуществлять перевозку, может потребоваться международная помощь. Каждый этап перевозки источника должен рассматриваться на индивидуальной основе.

Этот метод часто использовался в прошлом для перевозки небольших источников для промышленной радиографии весом не более 20–30 кг (рис. 98). Однако этот метод больше применяться не должен, особенно в случае высокоактивных источников. Если такой подход все же будет взят за основу, важно убедиться, что все предохранительные механизмы, например механизм блокировки затвора, работают корректно.



РИС. 98. Для небольших источников, в зависимости от их размеров, геометрии и активности, должен использоваться специальный контейнер для перевозки.

11.2.1.2. Перевозка источника, оставленного в держателе, в транспортной упаковке утвержденной конструкции

Если извлечение изъятых из употребления источников из держателя на объекте пользователя невозможно или нецелесообразно, может потребоваться его перевозка в утвержденной транспортной упаковке с достаточным внутренним объемом для того, чтобы вместить держатель источника. Это особенно целесообразно для небольших держателей источников с общим весом приблизительно до 500 кг и уровнем активности в пределах допустимого для типа А. Имеется ряд конструкций упаковки типа А, которые представляются пригодными для перевозки таких источников. Типичным примером является стальная бочка, показанная на рис. 99. Держатели источников могут перевозиться в контейнере такого типа, если они имеют достаточное встроенное экранирование и не перемещаются внутри упаковки во время перевозки.



РИС. 99. Транспортная упаковка типа А с большим внутренним объемом и вместимостью (приблизительно 300 кг).

Перевозка держателей источников, активность которых выше значений A_1/A_2 , может потребовать использования транспортных упаковок типа В более массивной и сложной конструкции (рис. 100). Такая упаковка является довольно дорогостоящей, что является для некоторых стран, в которых имеется относительно небольшое число источников категории 1 и 2, веским аргументом в пользу международного сотрудничества. Очевидно, что для решения вопроса о трансграничной перевозке радиоактивных материалов этот вариант потребует определенных обсуждений и согласований.

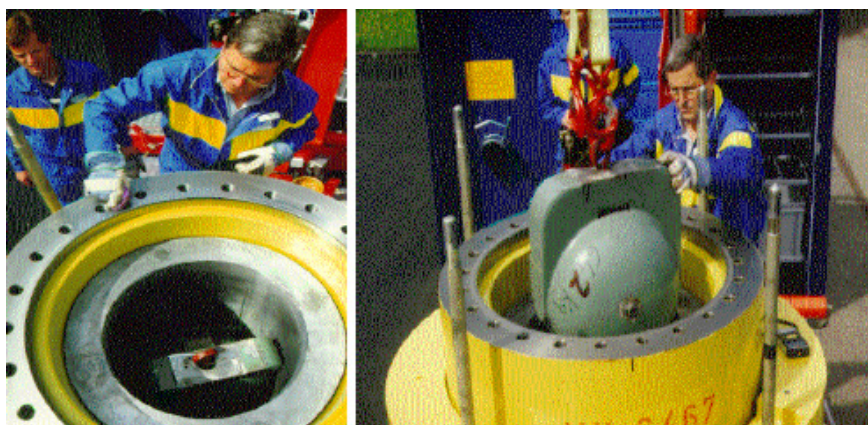


РИС. 100. Транспортная упаковка типа В для источников категории 1.

Если подходящая транспортная упаковка в государстве-члене отсутствует, можно обратиться к компетентному органу с просьбой о применении специальной процедуры, которая может, например, допускать повторное использование заводской транспортной упаковки. Такой вариант может стать менее затратным, и компетентным органам в государствах-членах следует уделять ему должное внимание, чтобы облегчить вывоз и надлежащее хранение изъятых из употребления источников.

11.2.2. Источник извлечен из заводского держателя

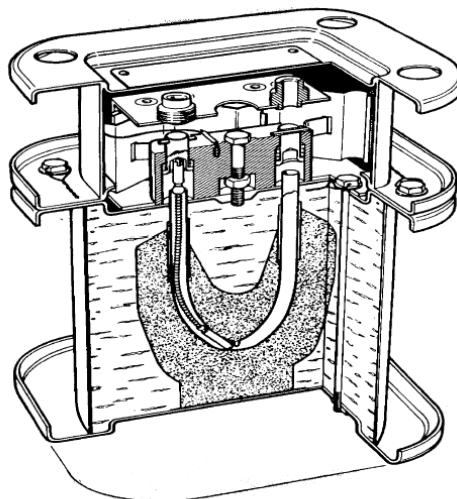
Источники категории 1 и 2 обычно связаны с риском высокой дозы облучения, которую можно получить даже в течение короткого времени. Любая попытка извлечь источник из заводского держателя источника должна предприниматься только при крайней необходимости. По соображениям безопасности для этого должна иметься надежная инфраструктура (например, горячая камера) и применяться соответствующие технические/административные требования (см. раздел 6). Специалисты, планирующие проведение такой операции, должны иметь большой опыт в области радиационной защиты. Извлеченный высокоактивный источник помещается в упаковку типа В. На рис. 101 показан пример подходящей упаковки типа В.



РИС. 101. Пример транспортной упаковки типа В.

11.2.2.1. Перемещение источника из устройства в специальный транспортный контейнер

Многие типы держателей источников предусматривают возможность замены источника на месте. К ним относятся самые современные установки для промышленной радиографии и аппараты дистанционной лучевой терапии на ^{60}Co . Что касается установок для промышленной радиографии, то процесс перемещения источника из его держателя в сравнительно небольшой экранированный контейнер достаточно прост. На рис. 102 показан пример транспортной упаковки, специально предназначенной для источников, используемых в промышленной радиографии.



Устройство для замены источника TTN 650,
сертификат соответствия № 0148

РИС. 102. Транспортная упаковка источника для промышленной радиографии (тип В, на основе ^{192}Ir активностью 8,8 ТБк).

Что касается аппаратов дистанционной лучевой терапии, то к головке аппарата присоединяется специальный контейнер большого размера, и источник выдавливается или вытягивается из головки в контейнер. Плотное прилегание транспортного контейнера к головке аппарата дистанционной лучевой терапии гарантирует минимальную дозу облучения работников. Этот тип упаковки для перемещения/перевозки, как правило, является собственностью производителя/поставщика. На рис. 103 проиллюстрирован порядок замены источника в головке аппарата дистанционной лучевой терапии.

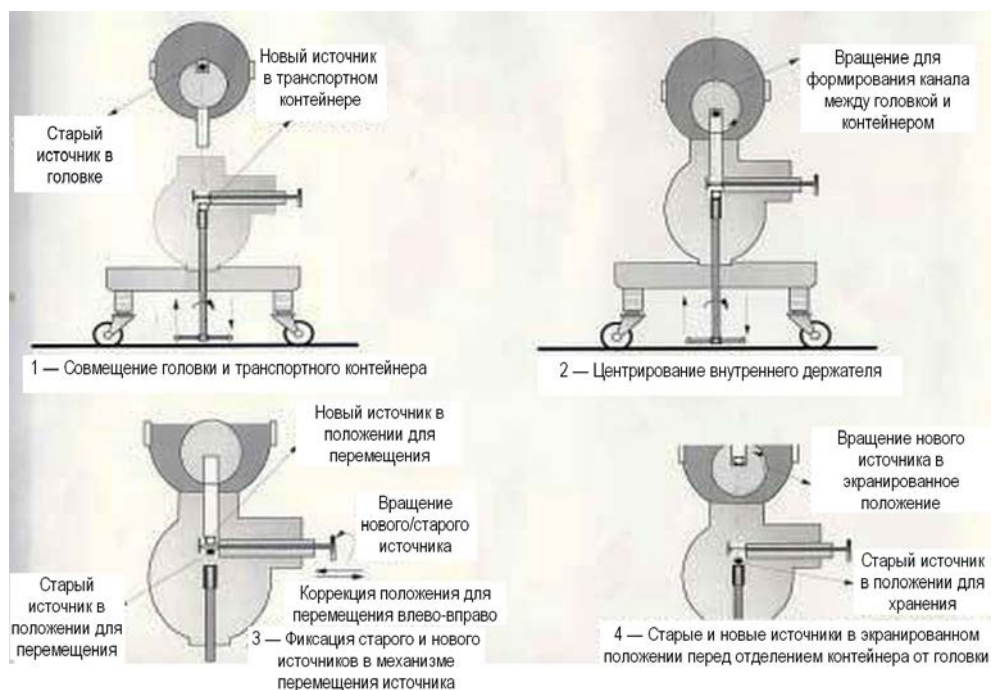


РИС. 103. Схема процедуры замены источника в аппарате дистанционной лучевой терапии.

11.2.2.2. Перемещение источника из устройства в транспортный контейнер общего назначения

Что касается многих старых аппаратов дистанционной лучевой терапии и старых установок для промышленной радиографии с источниками высокой активности, то специальные упаковки для перевозки источника недоступны либо перемещение источника на месте не представляется возможным из-за особенностей конструкции. Если специальная транспортная упаковка недоступна, может по-прежнему иметься возможность перемещения источника в альтернативную транспортную упаковку подходящей конструкции. И действительно, это может иметь принципиальное значение, если принимающий пункт не имеет возможности работать с источником, находящимся внутри держателя (например, в силу его размеров), или если отсутствует транспортная упаковка для перевозки всего аппарата (источник внутри держателя, см. ниже).

Для тех случаев, когда предполагается перемещение источника из держателя в экранированную транспортную упаковку, существует ряд универсальных транспортно-упаковочных комплектов. Для перемещения источника требуется соответствующее оборудование и хорошо подготовленный персонал. На рис. 104 показаны несколько контейнеров с разной мощностью экранирования. Они могут быть вложены друг в друга, и общая мощность экранирования нескольких упаковок типа А и В составит до 150 мм. Такая конструкция упаковки обеспечивает большой объем внутренней полости и большую гибкость при обращении.



РИС. 104. Экранированный внутренний контейнер с ^{137}Cs загружается в транспортную упаковку типа В после того, как источник ^{137}Cs был извлечен из исследовательской облучательной установки.

Транспортные упаковки общего назначения, в том числе описанная выше, не предназначены для решения таких специфических задач, как перемещение источника из держателя источника определенной конструкции. Поэтому для таких случаев необходимо индивидуально разрабатывать инженерно-технические решения, позволяющие переместить источник в упаковку при условии получения операторами минимальной дозы облучения. В частности, упаковка может быть подсоединена непосредственно к держателю источника, либо возможно двухступенчатое перемещение источника с использованием специально сконструированного промежуточного контейнера. Во всех случаях следует избегать перемещения неэкранированных источников категории 1 и 2. Если в этом есть необходимость, должны быть разработаны, испытаны и выполнены соответствующие технические процедуры с привлечением квалифицированного персонала.

При получении на пункте хранения также потребуется найти техническое решение для извлечения источника из транспортной упаковки. Обычно такая операция производится внутри горячей камеры.

Если знаний местного персонала для извлечения источника недостаточно либо соответствующее оборудование или инструменты недоступны, необходимо обратиться за помощью к поставщику/заводу-изготовителю/владельцу аналогичных упаковок/источников либо к иностранной организации по обращению с отходами или международной организации (например, МАГАТЭ).

11.3. ВОЗНИКШИЕ ПРОБЛЕМЫ И ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

Известны многие случаи, когда источники остаются на объекте пользователя из-за проблем с выбором подходящего и экономически целесообразного способа перевозки источников поставщику/изготовителю, другому пользователю, в пункт кондиционирования отходов, пункт хранения в ЦОРО или пункт захоронения с соблюдением соответствующих международных правил перевозки [48]. Основные причины, по которым перевозка изъятого из употребления источника с объекта пользователя задерживается, состоят в следующем:

- недостаточное финансирование;
- трудности при лицензировании;
- отсутствие сертификатов на источник или информации о нем;
- отсутствие сертификатов на радиоактивные материалы особого вида;
- отсутствие подходящего сертифицированного транспортного контейнера.

Важно, чтобы между компетентными органами и лицензиатами поддерживалось сотрудничество для решения этих проблем в интересах безопасной перевозки изъятых из употребления источников.

11.3.1. Недостаточное финансирование

В настоящее время перевозка изъятых из употребления источников за пределы страны часто обходится весьма дорого из-за того, что заводская транспортная упаковка отсутствует либо истек срок действия сертификата. После того, как оборудование приобретено и поставлено, может оказаться, что предприятие не обеспечивает покрытие расходов на передачу права собственности на источник, когда оборудование в конечном итоге будет выводиться из эксплуатации. Причина этого может заключаться в том, что в бюджете собственников предприятия нет механизма учета расходов, которые будут понесены только в далеком будущем (возможно, по прошествии десятилетий) и сумма которых может быть рассчитана лишь ориентировочно. Другой причиной может быть то, что предприятие исходит из допущения, что расходы на передачу права собственности будут

покрыты из его операционного бюджета или что их покрытие будет являться условием покупки нового оборудования. Это может привести к финансовым затруднениям в момент передачи права собственности, что даст стимул к использованию менее дорогостоящих вариантов. Реализуя такие альтернативы, можно увеличить вероятность утраты контроля над отработавшим или изъятым из употребления источником.

11.3.2. Трудности при лицензировании

В некоторых странах необходимо получать лицензию на перевозку радиоактивных материалов. Как следствие, в случае перевозки источников через несколько границ необходимо привлекать местные компании или водителей из тех стран, где действуют такие правила. Это предполагает значительные административные усилия и расходы.

11.3.3. Отсутствие сертификата на источник или информации о нем

Сертификат на источник или информация об источнике необходимы для принятия решения о возможности перевозки источника в имеющейся упаковке. Сертификат на источник или информация об источнике могут использоваться для определения того, совместимы ли уровень активности и физические размеры источника с имеющейся транспортной упаковкой. Если сертификат на источник или информация о нем недоступны, могут быть рассмотрены следующие варианты:

- a) изготовитель или поставщик может предоставить новый сертификат или информацию об источнике;
- b) источник должен пройти характеризацию в целях уточнения его активности, изотопного состава и целостности защитной оболочки.

11.3.4. Отсутствие сертификата на радиоактивные материалы особого вида

Во многих случаях сертификаты на радиоактивный материал особого вида могут быть уже недействительными применительно к изъятым из употребления источникам. Обычно это имеет место в тех случаях, когда конструкция капсулы устарела или предприятие-изготовитель источника прекратило свою деятельность и, следовательно, больше не в состоянии продлить срок действия сертификата. Истечение срока действия сертификата на радиоактивный материал особого вида не подразумевает, что радиоактивный источник более не отвечает техническим требованиям к «радиоактивному материалу особого вида». Источник может по-прежнему удовлетворять требованиям к удержанию для упаковок типа В и, следовательно, может безопасно перевозиться. Важно, чтобы компетентный орган и лицензиат сообща занимались поиском приемлемого решения, облегчающего перевозку закрытого радиоактивного источника. Это решение может заключаться в продлении на короткий срок действия сертификата на материал особого вида, внесении изменений в транспортную накладную, чтобы радиоактивный источник был указан в ней не как материал особого вида, или выдаче лицензии, допускающей специальные условия перевозки.

11.3.5. Несоответствие заводской транспортной упаковки

Даже при наличии сертификата на источник и сертификата на материал особого вида транспортная упаковка, в которой изначально поставлялся радиоактивный источник или устройство, может более не соответствовать действующим правилам перевозки. В большинстве случаев транспортная упаковка может по-прежнему быть в исправном состоянии, однако

выданный компетентным органом сертификат об утверждении уже недействителен. В качестве примера можно упомянуть головки старых аппаратов дистанционной лучевой терапии, которые поставлялись в комплекте с источниками излучения в простых транспортных пакетах (рис. 105).

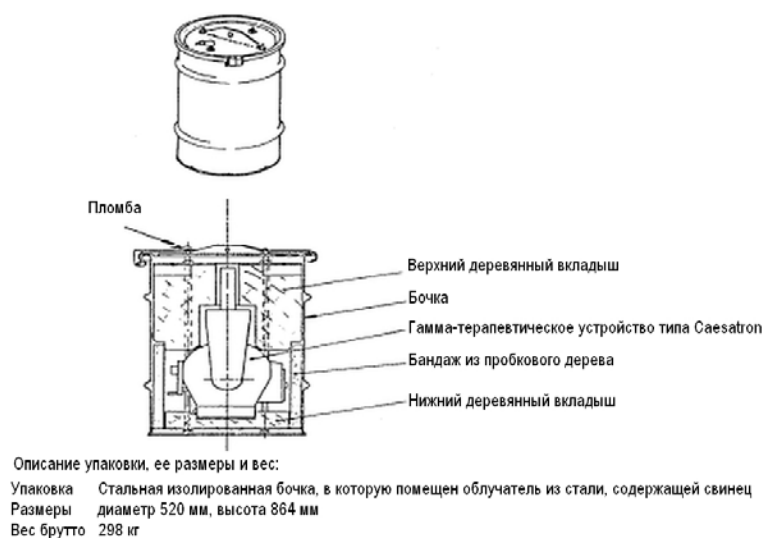


РИС. 105. Транспортная упаковка старого гамма-терапевтического устройства на основе ^{137}Cs , которая не соответствует действующим стандартам.

В некоторых случаях надлежащий транспортный контейнер может быть недоступен или держатель источника может иметь неизвестную конструкцию, при этом отсутствует (утрачен) чертеж с описанием порядка извлечения источника. В таких случаях перегрузка ИЗРИ невозможна, а его перевозка может осуществляться только в соответствии со специальными условиями. В частности, для целей перевозки и промежуточного хранения ИЗРИ (рис. 106) может использоваться корпус облучательной установки (с некоторыми доработками в плане безопасности). Такая перевозка требует согласования контроля со стороны национальных регулирующих органов.



РИС. 106. Готовая к перевозке в пункт захоронения облучательная установка, в которую загружены ИЗРИ на основе ^{137}Cs .

12. ЗАХОРОНЕНИЕ

ИЗРИ, которые не подлежат переработке или возврату в страну происхождения, заявляются в качестве отходов и подлежат захоронению на пункте захоронения отходов как форме безопасного и долгосрочного обращения с ними согласно соответствующим международно-правовым документам, нормам безопасности и положительным практикам. Для создания пункта захоронения требуется соответствующая инфраструктура, включая национальную политику в области обращения с отходами и соответствующую стратегию ее осуществления [50], нормативную базу и необходимые финансовые, людские и технические ресурсы. В случае, если ИЗРИ не могут сразу быть захоронены в уже существующих или проектируемых сооружениях, необходимо разработать специальное решение по их захоронению и подготовить соответствующую инфраструктуру. В этом контексте на международном уровне, особенно у государств-членов с ограниченными ресурсами [68–71], продолжает вызывать интерес вопрос о реализации приемлемого способа захоронения ИЗРИ.

В разделе 2.1 описываются некоторые важные факторы, которые следует учитывать при выборе приемлемого способа захоронения. Следует произвести оценку общего количества источников, которые планируются к захоронению, и соответствующих характеристик радионуклидов. Потребности в захоронении должны оцениваться в соответствии с требованиями безопасности, относящимися к захоронению радиоактивных отходов [72]. В этой связи особое внимание уделяется объемной активности, свойственной многим ИЗРИ, наряду с другими соображениями, такими как суммарная активность радионуклидов и периоды их полураспада. Варианты захоронения должны рассматриваться в более широком национальном контексте, т.е. с учетом текущих и будущих планов использования ядерных технологий, научных исследований и/или производства ядерной энергии. ИЗРИ, заявленные как отходы, обычно помещаются в упаковки отходов, которые должны быть спроектированы таким образом, чтобы отвечать критериям приемлемости захоронения на конкретном пункте. Наконец, в качестве управленческого инструмента могут использоваться КПО, с помощью которых проверяется, может ли данная партия упакованных ИЗРИ быть принята к захоронению на конкретном пункте, требуется ли в этом случае дополнительная, узконаправленная оценка безопасности и нужно ли прорабатывать альтернативные способы захоронения.

В принципе, приемлемый вариант захоронения может быть подобран для всех ИЗРИ, заявленных как отходы. К числу доступных вариантов могут относиться пункты приповерхностного захоронения, пункты геологического захоронения, а также специальные пункты скважинного захоронения. Краткий обзор таких вариантов дан в разделе 2.2. Собственно говоря, в деле захоронения отходов низкого и среднего уровня активности достигнут значительный прогресс, и принимающие эти отходы пункты захоронения функционируют уже несколько десятилетий. Кроме того, несколько стран уже подали или завершают необходимые процедуры для подачи заявки на получение лицензии, допускающей сооружение пунктов геологического захоронения, которые будут предназначены для приема среднеактивных отходов, высокоактивных отходов и/или отработавшего топлива, заявленного как отходы. Наконец, большое внимание уделяется концепции скважинного захоронения, и этот способ предлагается для создания пунктов захоронения, предназначенных для приема ИЗРИ, которые были заявлены как отходы. Имеющийся опыт и извлеченные уроки применительно к пунктам захоронения такого типа кратко рассматриваются в разделе 2.3.

12.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ВАРИАНТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ

Захоронение имеющихся ИЗРИ, заявленных как отходы, может осуществляться либо вместе с другими радиоактивными отходами на уже существующих или проектируемых пунктах

захоронения, либо на специально спроектированном и предназначенном именно для этой цели пункте. Кроме того, специально созданное для такой цели предприятие может быть при определенных условиях размещено на площадке уже существующего пункта, или же планировка существующего пункта захоронения может быть частично изменена для выполнения условий, необходимых для приема ИЗРИ, которые были заявлены как отходы.

Наиболее подходящее для государства-члена решение будет зависеть от нескольких факторов, в том числе от имеющегося количества ИЗРИ и вытекающих из этого потребностей в захоронении, а также от количества радиоактивных отходов, которые могут поступать от других видов деятельности и под которые уже могут быть запланированы или построены пункты захоронения.

Независимо от обстоятельств, потребности в захоронении должны оцениваться с учетом требований безопасности, касающихся захоронения радиоактивных отходов. Вначале ИЗРИ должны быть отнесены к определенному классу отходов, чтобы можно было составить представление о соответствующих потребностях в захоронении. Однако ЗРИ классифицируются исходя из той опасности, которую может представлять неконтролируемый источник. Эта классификация отличается от классификации отходов, созданной в помощь тем, кто принимает решения, касающиеся разработки стратегии захоронения, и поэтому для принятия решения о приемлемом варианте захоронения необходимо оценить радиологические характеристики источников. Таким образом, чтобы сделать осознанный выбор, необходимо ознакомиться с принятой в МАГАТЭ системой классификации отходов, оценить и сопоставить с этой системой радиологические характеристики ИЗРИ и выбрать подходящие варианты захоронения, чтобы сделать эту процедуру безопасной и эффективной.

12.1.1. Система классификации отходов МАГАТЭ

Чтобы подобрать подходящий вариант захоронения, необходимо сначала рассмотреть классы отходов, к которым должны быть отнесены ИЗРИ, заявленные как отходы. Если изъятый из употребления закрытый источник заявлен в качестве радиоактивных отходов, к нему применимы все распространяющиеся на отходы принципы безопасности [28]. МАГАТЭ разработало международно признанную систему классификации отходов, которая позволяет разбить радиоактивные отходы, включая ИЗРИ, на следующие шесть классов в зависимости от уровня активности и периода полураспада радионуклидов [66].

- 1) Освобожденные от контроля отходы (ОО). Отходы, которые отвечают критериям освобождения, изъятия или исключения из-под регулирующего контроля в целях радиационной защиты, как описано в [59].
- 2) Очень короткоживущие отходы (ОКЖО). Отходы, которые могут храниться до их распада в течение ограниченного периода времени продолжительностью до нескольких лет и впоследствии освобождаются от регулирующего контроля в соответствии с положениями, утвержденными регулирующим органом, в целях их последующего неконтролируемого захоронения, использования или сброса. Этот класс включает отходы, содержащие главным образом радионуклиды с очень коротким периодом полураспада, часто используемые в научных и медицинских целях.
- 3) Очень низкоактивные отходы (ОНАО). Отходы, которые необязательно отвечают критериям ОО, но применительно к которым не требуется высокий уровень локализации и изоляции, вследствие чего они пригодны для приповерхностного захоронения на полигонах с земляной засыпкой, где действует ограниченный регулирующий контроль. Такие приповерхностные полигоны могут содержать и другие опасные отходы. Концентрация более долгоживущих радионуклидов в составе ОНАО обычно весьма ограничена.
- 4) Низкоактивные отходы (НАО). Отходы, которые выходят за рамки уровня освобождения от контроля, но содержат ограниченные количества долгоживущих радионуклидов. Такие отходы требуют надежной изоляции и локализации в течение периодов времени продолжительностью

до нескольких сотен лет и пригодны для захоронения на соответствующим образом обустроенных приповерхностных пунктах захоронения. Этот класс охватывает весьма широкий спектр различных отходов. НАО могут содержать короткоживущие радионуклиды с более высокими уровнями объемной активности, а также долгоживущие радионуклиды, но только при условии сравнительно низкой объемной активности.

- 5) Среднеактивные отходы (САО). Отходы, которые из-за своего состава, особенно в силу присутствия долгоживущих радионуклидов, нуждаются в более высокой степени локализации и изоляции, чем при использовании способа приповерхностного захоронения. Тем не менее во время хранения или захоронения САО не требуется обеспечивать отвод тепла, либо он требуется лишь в ограниченном объеме. САО могут содержать долгоживущие радионуклиды, в частности альфа-излучающие радионуклиды, которые в течение срока, во время которого можно рассчитывать на ведомственный контроль, не распадутся до уровня объемной активности, допустимого при приповерхностном захоронении. Соответственно, требуется захоронение отходов этого класса на больших глубинах — от нескольких десятков до нескольких сотен метров.
- 6) Высокоактивные отходы (ВАО). Отходы, уровень объемной активности которых достаточно высок для того, чтобы в процессе радиоактивного распада происходило выделение значительного количества тепла, либо отходы с высокой массовой долей долгоживущих радионуклидов, которая должна приниматься в расчет при проектировании пункта захоронения таких отходов. общепризнанным вариантом захоронения ВАО является их помещение в глубокие стабильные геологические формации, обычно расположенные на глубине нескольких сотен метров или более от поверхности земли.

Представленные выше классы отходов дают общее представление о продолжительности и надежности их локализации и изоляции, а также о других моментах, в том числе касающихся рассеяния тепла, которые должны приниматься во внимание для безопасного захоронения отходов. На их основе можно вывести общие рекомендации относительно подходящих вариантов захоронения отходов на соответствующем пункте захоронения.

12.1.2. Общее количество ИЗРИ, характеристики соответствующих радионуклидов и классы отходов

Если общее количество ИЗРИ включает в себя несколько классов отходов, то для выбора способа их захоронения необходимо рассмотреть различные варианты, от приповерхностного до геологического захоронения, включая пункты скважинного захоронения с различной глубиной. С учетом соображений безопасности допускается возможность отнесения имеющихся ИЗРИ к тому варианту захоронения, который подходит для класса более высокоактивных отходов. Тем не менее, исходя из соображений, касающихся стоимости, общего количества ИЗРИ и возможности использования существующих пунктов захоронения отходов меньшего уровня активности, может быть рассмотрена возможность захоронения имеющихся ИЗРИ на нескольких подходящих пунктах захоронения.

Анализ потребностей в захоронении может быть выполнен только в том случае, если известно общее количество ИЗРИ, заявленных как отходы. Для ИЗРИ характерна высокая степень изменчивости физических и радиологических характеристик, таких как содержание радионуклидов, периоды полураспада, суммарная активность и объемная активность. Эти характеристики определяют класс отходов, к которому они должны быть отнесены в соответствии с представленной в предыдущем разделе классификацией, и, следовательно, продолжительность и надежность локализации и изоляции отходов, которую должен обеспечивать выбранный вариант захоронения. Между категориями источников 1–5 и классом отходов, к которому они в конечном итоге будут отнесены, нет точного соответствия. Очевидно, что источники, содержащие

радионуклиды с более высокой активностью и более длительным периодом полураспада, нуждаются в более высокой степени локализации и изоляции и, вероятно, должны рассматриваться как САО. Другие источники могут быть классифицированы как ОНАО.

На основе анализа распространенных типов ИЗРИ и их соответствующих радионуклидных характеристик могут быть сформулированы некоторые предварительные рекомендации. Данные о радионуклидах, используемых в ЗРИ для различных применений, обобщены в [23]. Таблица 8 составлена на основе данных, представленных в [23], и в качестве примера содержит информацию о периоде полураспада и диапазоне активности некоторых используемых в ЗРИ радионуклидов.

ТАБЛИЦА 8. ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА И ДИАПАЗОН АКТИВНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В ЗРИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Основной радионуклид	Период полураспада	Минимальная активность нуклида (Бк)	Максимальная активность нуклида (Бк)	Применение
^3H	12,3 года	$1,9 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	Военные, промышленные применения, газонаполненные светоизлучающие приборы, мишени для нейтронных трубок
^{60}Co	5,3 года	$9,3 \cdot 10^{10}$	$5,6 \cdot 10^{17}$	Облучатели, дистанционная лучевая терапия, промышленная радиография, брахитерапия, промышленные измерительные приборы
^{75}Se	120 суток	$3,0 \cdot 10^{12}$	$3,0 \cdot 10^{12}$	Промышленная радиография
^{85}Kr	10,7 года	$1,9 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^{10}$	Промышленные измерительные приборы, молниеотводы
^{90}Sr	28,6 года	$3,7 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^{16}$	РИТЭГ, изотопные толщинометры, аппликаторы для глаз
^{125}I	60 суток	$1,5 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{10}$	Брахитерапия
^{137}Cs	30,1 года	$3,0 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^{17}$	Облучатели, брахитерапия, промышленные измерительные приборы, каротажное оборудование, влагомеры
^{169}Yb	32 суток	$9,3 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{11}$	Промышленная радиография
^{170}Tm	129 суток	$7,4 \cdot 10^{11}$	$7,4 \cdot 10^{12}$	Промышленная радиография
^{192}Ir	74 суток	$7,4 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{12}$	Промышленная радиография, брахитерапия
^{226}Ra	1600 лет	$2,6 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^9$	Брахитерапия, молниеотводы, дымовые пожарные извещатели
^{238}Pu	87,8 года	$1,1 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	РИТЭГ, кардиостимуляторы
$^{239}\text{Pu}-\text{Be}$	24 100 лет	$7,4 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{11}$	Научные исследования
^{241}Am	432 года	$4,8 \cdot 10^7$	$8,5 \cdot 10^{11}$	Промышленные измерительные приборы, дымовые пожарные извещатели, молниеотводы, костная денситометрия

ТАБЛИЦА 8. ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА И ДИАПАЗОН АКТИВНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В ЗРИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ (продолж.)

Основной радионуклид	Период полураспада	Минимальная активность нуклида (Бк)	Максимальная активность нуклида (Бк)	Применение
$^{241}\text{Am}-\text{Be}$	432 года	$1,9 \cdot 10^{10}$	$8,5 \cdot 10^{11}$	Научные исследования
^{244}Cm	18,1 года	$7,4 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^{10}$	Промышленные измерительные приборы
^{252}Cf	2,6 года	$1,1 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^9$	Промышленные измерительные приборы, каротажное оборудование нефтяных скважин, нейтронно-активационные методы, медицина

Следует заметить, что представленные в таблице 8 диапазоны активности относятся к источникам, находящимся в эксплуатации. После изъятия источника из употребления его активность близка к указанному минимальному уровню или ниже его и продолжает снижаться и далее в зависимости от периода полураспада. В качестве примера ниже приведены ИЗРИ с определенными характеристиками источника, для которых могут быть пригодны различные варианты захоронения.

- Радиоактивные источники, уровень активности которых не превышает уровня освобождения от контроля, как, например, в случае дымовых пожарных извещателей, и при условии, что данный вариант захоронения предусмотрен национальным законодательством, могут быть захоронены на полигонах с земляной засыпкой по схеме обращения с отходами, освобожденными от регулирующего контроля.
- Радиоактивные источники низкой и средней активности с очень коротким периодом полураспада (обычно менее 100 дней) через несколько лет распадутся до состояния, соответствующего уровню освобождения от контроля. Если говорить о методике обращения с отходами, то такие источники могут быть безопасно оставлены в пункте хранения до завершения их распада согласно схеме обращения, применимой к ОКЖО.
- Захоронение радиоактивных источников с очень низким уровнем активности, даже если они содержат очень долгоживущие радионуклиды, в частности ^{14}C (период полураспада = 5700 лет), ^{36}Cl (период полураспада = 300 000 лет) и ^{129}I (период полураспада = 17 млн. лет), используемых, например, для калибровки приборов, допускается на пунктах приповерхностного захоронения с земляной засыпкой согласно схеме обращения, применимой к ОНАО.
- Радиоактивные источники с коротким периодом полураспада (примерно до 30 лет, такие как ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs), как правило, могут быть захоронены на приповерхностных пунктах при условии, что в течение планируемого периода ведомственного контроля их активность снизится до пределов, установленных при оценке безопасности, и при условии соблюдения всех критериев объемной активности согласно схеме обращения, применимой к НАО. Условно говоря, это применимо к источникам, активность которых снизится до уровня освобождения от контроля в течение 300 лет и удельная активность которых ниже пределов, установленных в обосновании безопасности.
- Высокоактивные источники с коротким периодом полураспада, а также источники, содержащие долгоживущие радионуклиды, такие как ^{238}Pu и ^{226}Ra , могут требовать захоронения в геологических формациях, которое обеспечит долгосрочную безопасность, согласно схеме обращения, применимой к САО.

Все вышеперечисленные примеры относятся к пунктам захоронения, спроектированным для обращения с радиоактивными отходами в целом. Если планируется создать объект, специально предназначенный для захоронения ИЗРИ, то наиболее эффективным вариантом, обеспечивающим приемлемую степень защиты, может являться скважинное захоронение [73]. В зависимости от местоположения такого объекта и глубины размещения источников, он может в принципе обеспечивать уровень изоляции и локализации, достаточный для НАО, а также САО. Такая скважина может быть обустроена как отдельный объект либо размещена на одной площадке с другим пунктом захоронения.

Количественные аспекты, например значения допустимого уровня активности каждого значимого радионуклида, а также значения локальной объемной активности и тепловыделения, будут уточняться на основе оценок безопасности конкретного пункта захоронения. Эти значения имеют отношение к используемым в оценках сценариям развития событий в области безопасности, включая учет возможности выброса радионуклидов и их переноса в доступную окружающую среду и вероятности случайного проникновения. Эти качественные аспекты могут быть затем оговорены в КПО и использоваться в качестве управленческого инструмента при принятии решения о том, могут ли данные радиоактивные отходы быть безопасно захоронены на данном пункте.

12.1.3. Варианты захоронения ИЗРИ с учетом общего положения дел с радиоактивными отходами в стране

Выбор приемлемого варианта захоронения всех имеющихся ИЗРИ, заявленных как отходы, должен делаться сообразно более общему социально-политическому положению и состоянию системы регулирования в стране и с учетом: i) общего объема радиоактивных отходов; ii) характеристик площадок; iii) проектного решения пунктов захоронения. Эти национальные условия проиллюстрированы на рис. 107.

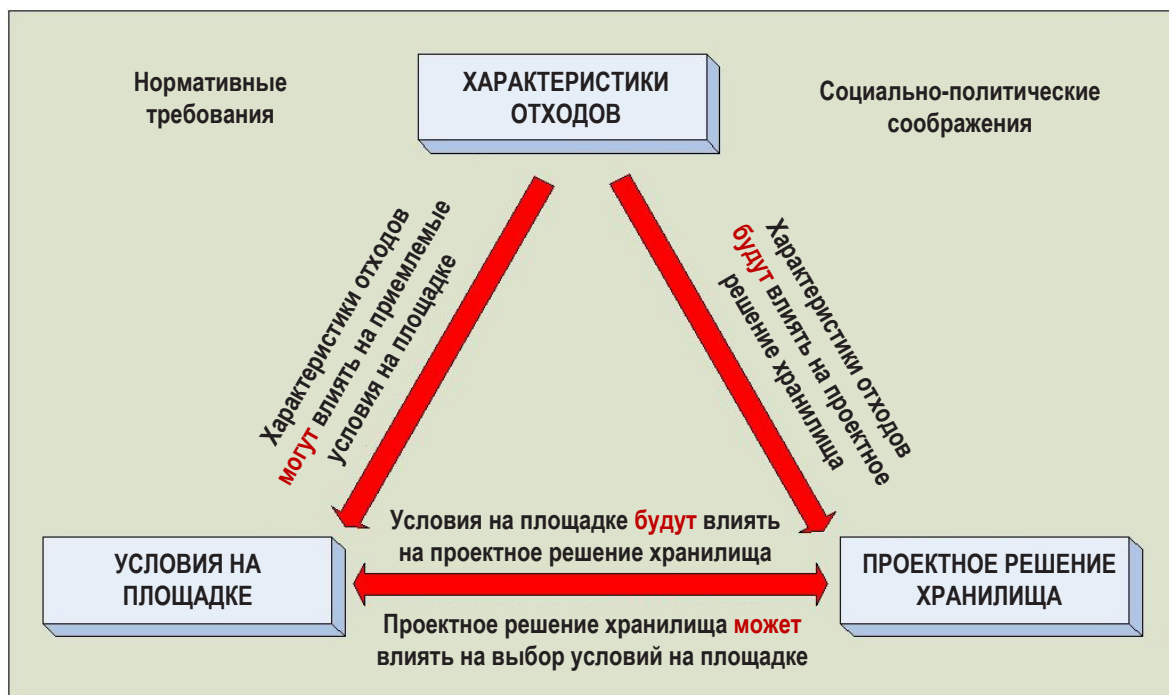


РИС. 107. Характеристики всего имеющегося объема отходов как фактор, влияющий на проектирование хранилища.

Для небольших программ обращения с радиоактивными отходами, которые состоят главным образом или исключительно из ИЗРИ, заявленных как отходы, рекомендуется создание одного или нескольких специализированных пунктов захоронения. Хорошо изученным решением, которое способно обеспечить эффективное и безопасное захоронение небольших объемов радиоактивных отходов, является скважинное захоронение [73]. Если необходимо получить начальный опыт реализации проектов скважинного захоронения, подходящим вариантом может стать сначала захоронение ИЗРИ, идентифицированных как НАО, в специально предназначенном для этого пункте скважинного захоронения, а затем, на последующем этапе, захоронение ИЗРИ, идентифицированных как САО, в отдельном пункте скважинного захоронения, обеспечивающем их более надежную изоляцию и локализацию. С другой стороны, если в ходе предварительной реализации проектов скважинного захоронения соответствующий опыт уже мог быть получен и надежность такого способа захоронения была подтверждена на практике, предпочтительным решением может стать выбор варианта захоронения, приемлемого для САО, и размещение в той же самой скважине ИЗРИ, идентифицированных как НАО.

Необходимо также рассмотреть вопрос о том, как приспособить захоронение ИЗРИ, заявленных как отходы, к более широкой инфраструктуре обращения с радиоактивными отходами, например к уже существующим или проектируемым пунктам захоронения, предназначенным для приема ОНАО или НАО.

Для программ обращения с радиоактивными отходами, рассчитанным на обработку большого объема отходов, например НАО и ИЗРИ, можно рассмотреть несколько вариантов захоронения. Имеющиеся ИЗРИ, заявленные как отходы, которые допускаются к захоронению на приповерхностном полигоне для НАО, могут быть помещены в подходящие упаковки отходов и захоронены как другие НАО. При этом, возможно, потребуется уделить особое внимание вопросу сочетания характеристик объемной активности и периода полураспада, которые у ИЗРИ могут быть выше, чем у других НАО. Такое сочетание характеристик может соответствовать или не соответствовать КПО для полигонов с земляной засыпкой или пунктов приповерхностного захоронения. В противном случае может быть рассмотрен вариант хранения части имеющихся ИЗРИ до тех пор, пока в силу естественного распада объемная активность не снизится до уровня, соответствующего КПО. Если этот вариант не представляется разумным, т.е. если для безопасного захоронения требуется более высокий уровень локализации и изоляции, чем при приповерхностном захоронении, доступным и эффективным вариантом может быть скважинное захоронение на надлежащей глубине и с достаточными инженерными барьерами. В таком случае, в зависимости от свойств площадки и других соображений, скважина может быть обустроена на площадке уже существующего пункта приповерхностного захоронения или отдельно от него.

Если, помимо эксплуатации пункта приповерхностного захоронения, в рамках программы обращения с радиоактивными отходами необходимо также разработать решения по захоронению САО или ВАО, то ИЗРИ, не подлежащие захоронению на существующем пункте, могут быть помещены на долгосрочное хранение до тех пор, пока не будет введено в эксплуатацию геологическое хранилище.

12.1.4. Кондиционирование ИЗРИ для захоронения — упаковка отходов

Радиоактивное устройство содержит один или несколько радионуклидов известного уровня радиоактивности и химической формы, запечатанных в специальную капсулу, которая обеспечивает первичное удержание. В большинстве случаев перед захоронением радиоактивные источники должны быть дополнительно кондиционированы и упакованы, что повысит надежность их долгосрочного удержания (см. раздел 10) и позволит адаптировать упаковку отходов к условиям пункта захоронения. В предназначенной для захоронения упаковке радиоактивных источников может содержаться более одного типа источников, а также могут быть предусмотрены дополнительные защитные слои и тот или иной наполнитель, добавленный для повышения общего

уровня безопасности. Такое решение фактически обеспечивает инженерный барьер для изоляции и локализации отходов, который должен проектироваться в соответствии с выбранным вариантом захоронения и быть пригодным для него.

Требования к проектированию упаковки для захоронения подробно рассматриваются в [48]. Упаковка может быть спроектирована таким образом, чтобы способствовать локализации радиоактивных источников путем предотвращения или ограничения выброса радионуклидов в геосферу. Для обеспечения долговечности такой локализации могут применяться два подхода: использование коррозионно-стойких материалов или использование толстостенного контейнера, который достаточно длительное время может сопротивляться коррозии. В обоих случаях важное значение имеет выбор материалов для изготовления упаковки, а также воздействие физической и геохимической среды в зоне захоронения. Внешний слой упаковки, как правило, может состоять из металла, бетона или композитных материалов. В значительной мере определять свойства упаковки, а также сильно влиять на ожидаемые эксплуатационные характеристики может также тампонажный материал (наполнитель), который используется для иммобилизации радиоактивных источников.

В упаковке радиоактивного источника могут происходить химические, микробиологические или радиолитические процессы, в результате которых — в зависимости от конкретного радионуклида, его активности и свойств материалов упаковки — может образовываться газ, тепло и/или возникать коррозия. Вопросы потенциального образования газа должны решаться на ранних этапах разработки концепции захоронения и проектирования пунктов захоронения [74–77].

Максимальный уровень активности, который будет допустим для упаковки, должен определяться по результатам оценки эксплуатационной безопасности и безопасности после закрытия объекта. В некоторых случаях упаковка может снижать уровень внешнего излучения в достаточной степени для того, чтобы позволять операции манипулирования и транспортировки. Экранирование, однако, не составляет проблемы после того, как упаковка была захоронена, а если упаковка для захоронения не обеспечивает достаточного экранирования, могут применяться особые меры по организации хранения и перевозки.

Если захоронение производится в полостях ограниченного размера, например в скважинах, внешние размеры упаковки должны быть соответствующим образом адаптированы. Конструкцию упаковки могут дополнительно ограничивать прочие технические требования, например требования манипулирования с отходами.

Вопросы, касающиеся пересортировки и размещения ИЗРИ в упаковке отходов, а также конструкции соответствующей упаковки, должны решаться с учетом предпочтительного варианта захоронения имеющихся ИЗРИ. В частности, критерием, определяющим, будет ли данная упаковка отходов принята к захоронению на приповерхностном пункте, может быть объемная активность. В более общем плане конструкция упаковки отходов и ее содержимое соотносятся с КПО пункта захоронения и, таким образом, также со сценариями событий в области безопасности, которые принимались в расчет при запрашивании и получении лицензии на размещение отходов на этом пункте.

12.1.5. КПО для захоронения

В процессе эксплуатации пункта захоронения радиоактивных отходов вопрос о приеме на захоронение того или иного количества ИЗРИ, кондиционированных в упаковках отходов, решается путем сравнения характеристик отходов и упаковок отходов с КПО. КПО — это управленческий инструмент, который позволяет проверить, соответствует ли такое захоронение оценкам безопасности, административным и эксплуатационным потребностям пункта захоронения [74, 75]. На практике КПО для ИЗРИ, как и для других видов радиоактивных отходов, должны быть установлены таким образом, чтобы результаты оценки эксплуатационной безопасности и безопасности после закрытия пункта захоронения соответствовали применимым требованиям безопасности (например, граничным дозам и/или предельным или целевым значениям

рисков). Хотя общие КПО в принципе могут быть определены до того, как будет выбрана площадка под конкретный пункт захоронения, разработан его проект и выполнена соответствующая оценка безопасности (в дальнейшем эти общие КПО станут проектными требованиями для этого пункта), фактические КПО могут быть установлены только на основе полной оценки безопасности и потребуют утверждения в национальном органе по безопасности. Следует обратить внимание, что помимо КПО, определяемых по результатам оценки безопасности, могут устанавливаться дополнительные КПО которые относятся к техническим критериям, определяемым с учетом конструкции пункта захоронения, например размеров и предельного веса упаковки, либо к административным критериям, например применяемым для идентификации и отслеживания отходов.

Если захоронение планируется на приповерхностном объекте, то особенно важным фактором становится ожидаемая продолжительность ведомственного контроля, который помогает определить допустимое содержание и концентрацию более долгоживущих радионуклидов в источниках, предназначенных к захоронению. К числу других важных соображений относится объемная активность ИЗРИ, заявленных как отходы, и сценарии, применяемые для оценки долгосрочной безопасности их захоронения на приповерхностном пункте.

Захоронение ИЗРИ производится на уже существующих либо на новых пунктах. В первом случае исходя из КПО, утвержденных для существующего пункта захоронения регулирующим органом, будет определяться то, какие ИЗРИ могут быть приняты на захоронение. В случае, если ИЗРИ, заявленные как отходы, представляют собой поток отходов, которые изначально для этого пункта не предназначались, и их характеристики КПО не соответствуют, их приемлемость для захоронения должна быть обоснована посредством адресной оценки безопасности и одобрена регулирующим органом. Для технических решений по захоронению, специально рассчитанных на ИЗРИ, заявленных как отходы, например для пунктов скважинного захоронения, оценка безопасности и КПО должны быть согласованы между собой, чтобы сделать возможным захоронение рассматриваемых источников. Соблюдение КПО подразумевает, что захоронение этих ИЗРИ согласуется с оценкой безопасности и что пункт скважинного захоронения сможет обеспечить необходимые для защиты человека и окружающей среды условия локализации и изоляции.

12.2. ВАРИАНТЫ ЗАХОРОНЕНИЯ

ИЗРИ, заявленные как отходы, за исключением тех из них, которые относятся к категории освобожденных от контроля отходов или ОКЖО, подлежат захоронению на соответствующем пункте. Варианты захоронения изъятых из употребления источников и факторы, влияющие на выбор подходящего варианта захоронения источников различных типов, рассматриваются в публикации № 436 Серии технических докладов МАГАТЭ [48]. Они уже были представлены выше, а существующие и ныне применяемые технические решения по захоронению кратко описаны в нижеследующих разделах

12.2.1. Приповерхностное захоронение

Для захоронения ОНАО и НАО, в том числе ИЗРИ, которые были заявлены как отходы соответствующего класса и обладают характеристиками, отвечающими КПО, были созданы и на протяжении многих десятилетий эксплуатируются пункты приповерхностного захоронения. Необустроенные хранилища траншейного типа эксплуатируются и пригодны только для захоронения источников, которые в результате распада станут безопасными в течение периода, пока за хранилищем будет осуществляться ведомственный контроль. Главная цель заключается в том, чтобы по истечении этого периода остающиеся в хранилище радиоактивные источники не образовывали «пятен» радиоактивности, которые могут представлять опасность при случайной

выемке грунта на площадке или проникновении на нее. Таким образом, объемная активность может быть ограничивающим критерием, который потребует тщательного изучения и, возможно, будет препятствовать приему отдельными пунктами приповерхностного захоронения определенных ИЗРИ и/или упаковок отходов, объединяющих несколько ИЗРИ.

Крупные (как правило, емкостью в тысячи кубических метров) приповерхностные обустроенные хранилища камерного типа (рис. 108) имеют аналогичные цели локализации отходов и используются также главным образом для ОНАО и НАО. Большая часть таких отходов образуется в результате эксплуатации атомных электростанций. Конструкция и функции приповерхностных хранилищ описываются в [78–81]. Такие пункты захоронения, впрочем, могут и не принимать значительно более широкий спектр ИЗРИ по сравнению с пунктами захоронения траншейного типа. В самом деле, в тех случаях, когда инженерные барьеры не обеспечивают лучшей защиты от проникновения и/или снижения риска такого проникновения после снятия ведомственного контроля, первостепенным фактором, который будет обуславливать соответствующие КПО, может быть оценка последствий проникновения в место размещения ИЗРИ. Это актуально в том случае, когда в силу характеристик ИЗРИ, их упаковки и/или стратегии захоронения возможно образование «пятен» радиоактивности.

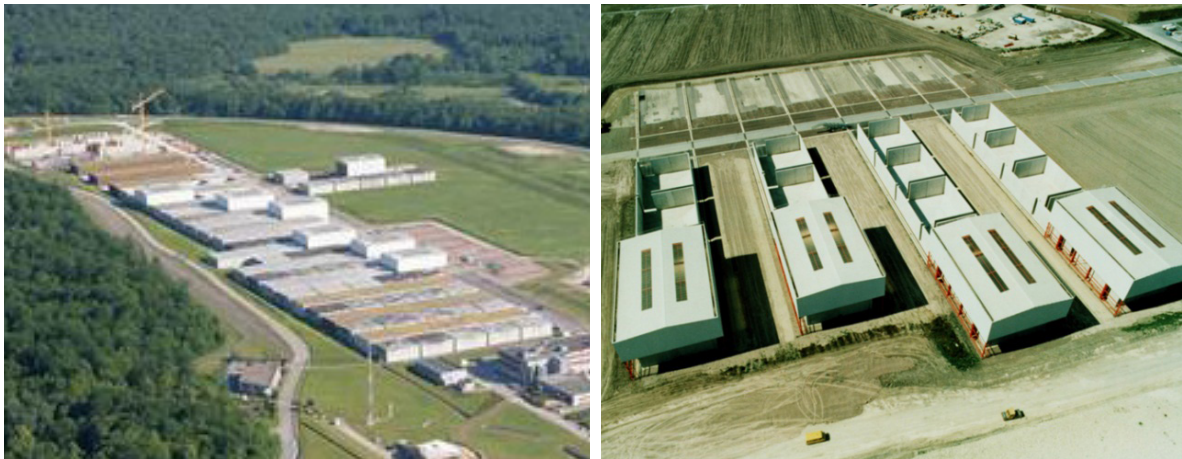


РИС. 108. Центр захоронения НАО в департаменте Об, Франция — обустроенное хранилище приповерхностного типа (предоставлено «Андра»).

Хотя эта опасность хорошо осознается, исходя из обоснования безопасности и характеристик некоторых имеющихся ИЗРИ, несколько стран, эксплуатирующих обустроенные хранилища приповерхностного типа (например, Словакия, Франция и Испания), пришли к выводу, что при наличии надлежащей стратегии захоронения часть имеющихся у них ИЗРИ отвечают КПО для этих хранилищ.

В число пунктов приповерхностного захоронения НАО входят объекты, находящиеся в горных выработках, которые расположены слишком близко к поверхности земли для того, чтобы обеспечивать долгосрочную пассивную безопасность, требуемую для захоронения определенных типов САО и ВАО. Некоторые государства-члены, например Швеция, Финляндия и Норвегия, для захоронения НАО устроили пункты захоронения в крупных кавернах на глубинах в несколько десятков метров, образовавшихся в основном в твердых кристаллических горных породах, таких как гранит. Средства локализации в таких хранилищах часто включают также массивные бетонные бункеры или шахты с дополнительными инженерными барьерами, такими как защитные экраны или засыпка из глины. Это подходящий вариант для захоронения некоторых ИЗРИ с более высоким уровнем активности при условии, что параметры упаковки и объемной активности соответствуют характеристикам вмещающей породы и системы инженерных барьеров хранилища.

Так, расположенное в Чешской Республике хранилище «Рихард» находится в заброшенных горных выработках в известняковой породе и имеет лицензию на прием НАО. Хранилище включает главный подъездной туннель, уходящий почти горизонтально в склон холма на несколько сотен метров. Для захоронения кондиционированных отходов в стальных бочках емкостью 200 л используется ряд камер в ответвлениях от главного туннеля. В эти камеры помещаются источники с коротким периодом полураспада и низким уровнем активности. В хранилище «Рихард» не принимались источники на основе Am–Be, Pu–Be или другие источники, активность которых превышает предельные значения для хранящихся в бочках отходов [82]. Тем не менее такие источники хранятся на этом объекте в контейнерах особой конструкции до тех пор, пока они не будут кондиционированы и впоследствии захоронены в соответствующем геологическом хранилище.

Если соответствующие хранилища для радиоактивных отходов помимо ИЗРИ отсутствуют или вряд ли будут созданы в ближайшем будущем, может быть организовано захоронение ИЗРИ на пунктах приповерхностного захоронения, специально предназначенных для размещения, в большинстве случаев, небольших количеств радиоактивных источников. Предполагается, что эти специально спроектированные для приема ИЗРИ пункты захоронения будут иметь различные уровни инженерно-технической защиты, отвечающие характеристикам радиоактивных источников, которые должны в них помещаться [48]. Такие специальные приповерхностные сооружения могут быть непригодны для размещения всех имеющихся источников, прежде всего ИЗРИ с высоким уровнем активности, и решения на этот счет должны приниматься, помимо прочего, на основании оценок безопасности.

Центром атомных исследований им. Бхабхи в Индии эксплуатируется два таких пункта захоронения закрытых источников: пункт обращения с твердыми радиоактивными отходами в Тромбее (RSMS) и центральный пункт обращения с отходами в Калпаккаме (CWMF). Оба этих объекта находятся в эксплуатации уже много лет. Источники, предназначенные для захоронения, сортируются по аналогичным типам источников. При необходимости проводятся работы по уменьшению их объема. Негерметичные источники переупаковываются, а источники небольшого размера помещаются в контейнеры из нержавеющей стали, которые герметично завариваются. На этих объектах на регулярной основе производится захоронение источников на основе ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{192}Ir и других бета- и гамма-излучателей с периодом полураспада менее 30 лет.

12.2.2. Геологическое захоронение

Во многих странах, имеющих дело с отходами атомной энергетики, разрабатываются хранилища шахтного типа, состоящие из каверн или туннелей с разного рода инженерными барьерами. Кроме того, для геологического захоронения отходов могут также рассматриваться неиспользуемые рудники и/или каверны. В обоих случаях их пригодность к захоронению отходов должна быть доказана обоснованием безопасности, и они должны соответствовать установленным нормативным требованиям. В зависимости от местоположения и конструкции либо в силу политических решений одни пункты геологического захоронения могут предназначаться только для приема НАО или САО, а на других может допускаться захоронение ВАО и отработавшего топлива, заявленного как отходы. Невзирая на это, обеспечиваемая всеми такими хранилищами степень локализации [83] более чем достаточна для захоронения всех типов радиоактивных источников, и поэтому страны, имеющие доступ к геологическим хранилищам, могут рассмотреть возможность окончательного захоронения всех радиоактивных источников при условии, что это будет допускаться законодательными и нормативными требованиями к содержанию хранилища. Действительно, в некоторых странах действуют строгие ограничения в отношении типов отходов, которые могут быть размещены в конкретных хранилищах, которые введены по политическим соображениям и необязательно обоснованы соображениями безопасности и эффективности защиты.

В настоящее время в мире нет работающих пунктов геологического захоронения, предназначенных для захоронения ВАО или отработавшего ядерного топлива, заявленного как отходы. Однако существуют геологические хранилища, которые принимают или принимали другие классы радиоактивных отходов, и ожидается, что в течение следующего десятилетия их станет больше. Например, в пустыне Чиуауа близ Карлсбада, штат Нью-Мексико, США, расположена экспериментальная установка по изоляции отходов (WIPP). В марте 1999 года на ней были начаты работы по захоронению. Само хранилище расположено в слоистых соляных отложениях на глубине 650 метров. Предприятие получило лицензию на захоронение трансурановых отходов, накопленных в рамках государственной оборонной программы. Оно также имеет право приема на захоронение всех кондиционированных ИЗРИ, содержащих ^{241}Am , ^{238}Pu и ^{239}Pu , которые были изготовлены в США.

Для захоронения НСАО, включая некоторые ИЗРИ, также использовался другой объект — пункт геологического захоронения на бывшей соляной шахте в Морслебене, Германия. Однако принимаемые на захоронение на этом пункте отходы были строго ограничены по типу изотопов и уровню радиоактивности [82]. В настоящее время хранилище в Морслебене проходит лицензионные процедуры для консервации и закрытия.

12.2.3. Захоронение в шахтах и скважинах

Захоронение изъятых из употребления радиоактивных источников, которые не могут быть помещены в приповерхностные хранилища ввиду того, что их начальная удельная активность превышает критерии приемлемости или что в течение периода ведомственного контроля их распад до достаточного уровня активности невозможен, может быть допустимо на большей глубине в надлежащим образом расположенных и спроектированных пунктах захоронения. Для государств-членов, у которых нет крупных ядерных программ или которые обладают ограниченными ресурсами, привлекательным вариантом является захоронение изъятых из употребления радиоактивных источников в шахтах и скважинах. Скважинное захоронение ИЗРИ предполагает размещение твердых или отвержденных радиоактивных отходов в обустроенном сооружении, которое включает скважину относительно небольшого диаметра, пробуренную непосредственно с поверхности. Другие концепции предполагают захоронение в шахтных стволах большего диаметра. Пункты захоронения скважинного и шахтного типа могут быть самых разных конструкций и иметь глубину от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Их диаметр может колебаться от нескольких десятков сантиметров до более чем одного метра [84–86]. Скважина или ствол могут быть укреплены обсадными трубами, а источники обычно помещаются в специально сконструированную упаковку, окруженную тампонажным материалом (рис. 109).

Пункт захоронения может состоять из одной скважины или группы скважин, которые могут быть расположены совместно с другими ядерными установками или отдельно. Естественным образом ограничить потенциальную опасность для людей и окружающей среды позволяет ограничение на объем радионуклидов. Пункты скважинного захоронения имеют ряд потенциально полезных характеристик с точки зрения безопасности и экономики отходов. В частности, они:

- обеспечивают длительную изоляцию небольших объемов радиоактивных отходов с высокой удельной активностью, помещенных в высокопрочные контейнеры, от человека и окружающей среды;
- позволяют напрямую и с малыми затратами получить доступ к соответствующему геологическому горизонту с использованием легкодоступных технологий;
- нетребовательны с точки зрения занимаемой площади и инфраструктуры;
- позволяют в сжатые сроки провести работы по строительству, эксплуатации и закрытию;
- гарантируют низкую вероятность вмешательства человека и воздействия экстремальных событий в будущем вследствие небольшой площади скважины и возможности выбора подходящей глубины.

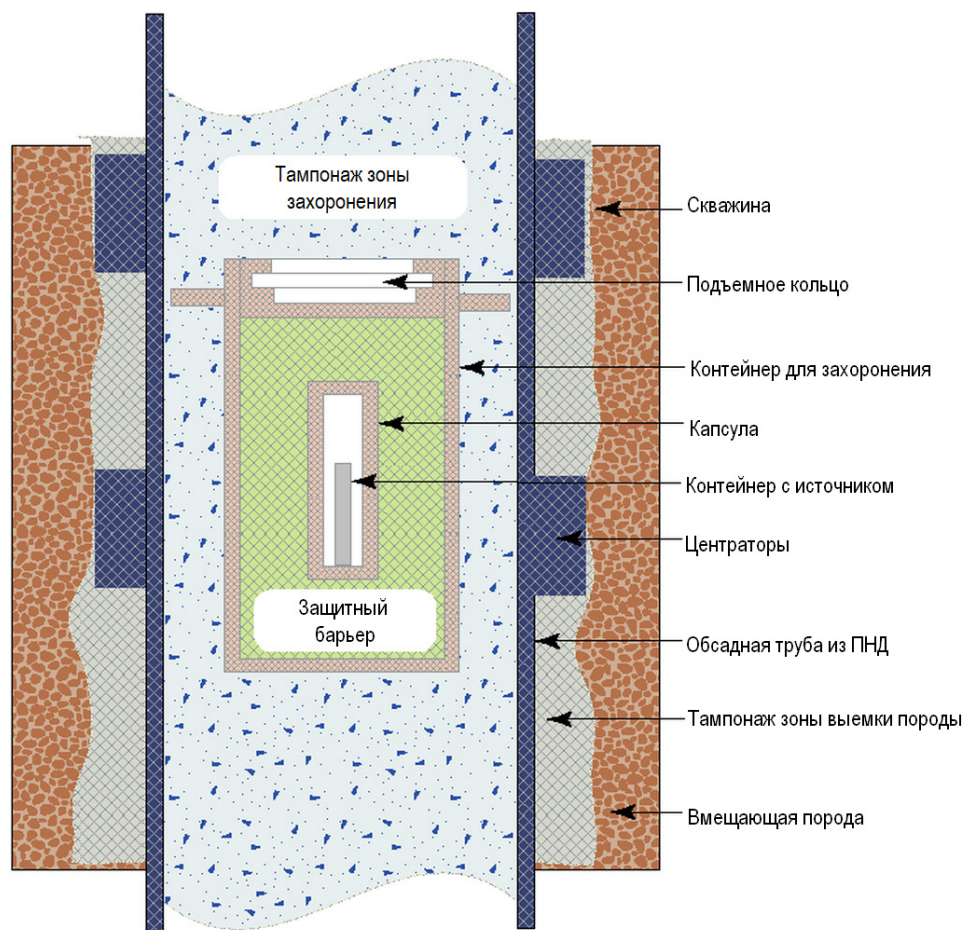


РИС. 109. Схема возможных элементов системы скважинного захоронения.

Чтобы обеспечить долгосрочную безопасность за счет реализации множественных функций безопасности, мало зависящих друг от друга, проектом могут предусматриваться естественные и инженерные барьеры. Для достижения этой цели необходимо, чтобы функционирование инженерных и естественных барьеров имело в своей основе разные физические и химические процессы и гарантировалось процедурами менеджмента качества. Таким образом, общая безопасность системы не должна чрезмерно зависеть от работы какого-либо одного элемента. Более подробная информация о скважинном захоронении приводится в [48].

Пункты скважинного захоронения для хранения и захоронения радиоактивных отходов используются в ряде стран. Краткая информация о таких пунктах представлена в [81].

Так, например, захоронение ИЗРИ в шахтных стволах или скважинах, пробуренных в зоне аэрации в засушливых районах, осуществляется на объекте «Грейтер конфайнмент диспозал фасилити» на Невадском испытательном полигоне в США и на «Маунт Уолтон Ист» в Австралии [87, 88].

В качестве еще одного примера можно упомянуть хранилище скважинного типа для ИЗРИ в Российской Федерации — цилиндрический сосуд из нержавеющей стали диаметром 400 мм и высотой 1500 мм, помещенный в железобетонный колодец на глубину 4 м (рис. 110). Для засыпки пространства, оставшегося вокруг бетонной стены хранилища после изначальной выемки грунта, используется глиноцементная смесь, которая выполняет роль непроницаемого барьера. При проектировании объекта учитывается максимально допустимая температура, создаваемая источниками (порядка 230°C). Для удовлетворения этого требования максимальная активность загруженных в хранилище источников не должна превышать 1,85 ПБк (50 000 Ки).

«За счет кондиционирования отходов на месте с использованием металломатричных материалов допустимая для хранилищ скважинного типа радиоактивная нагрузка была увеличена до 6,7 ПБк (180 000 Ки)».

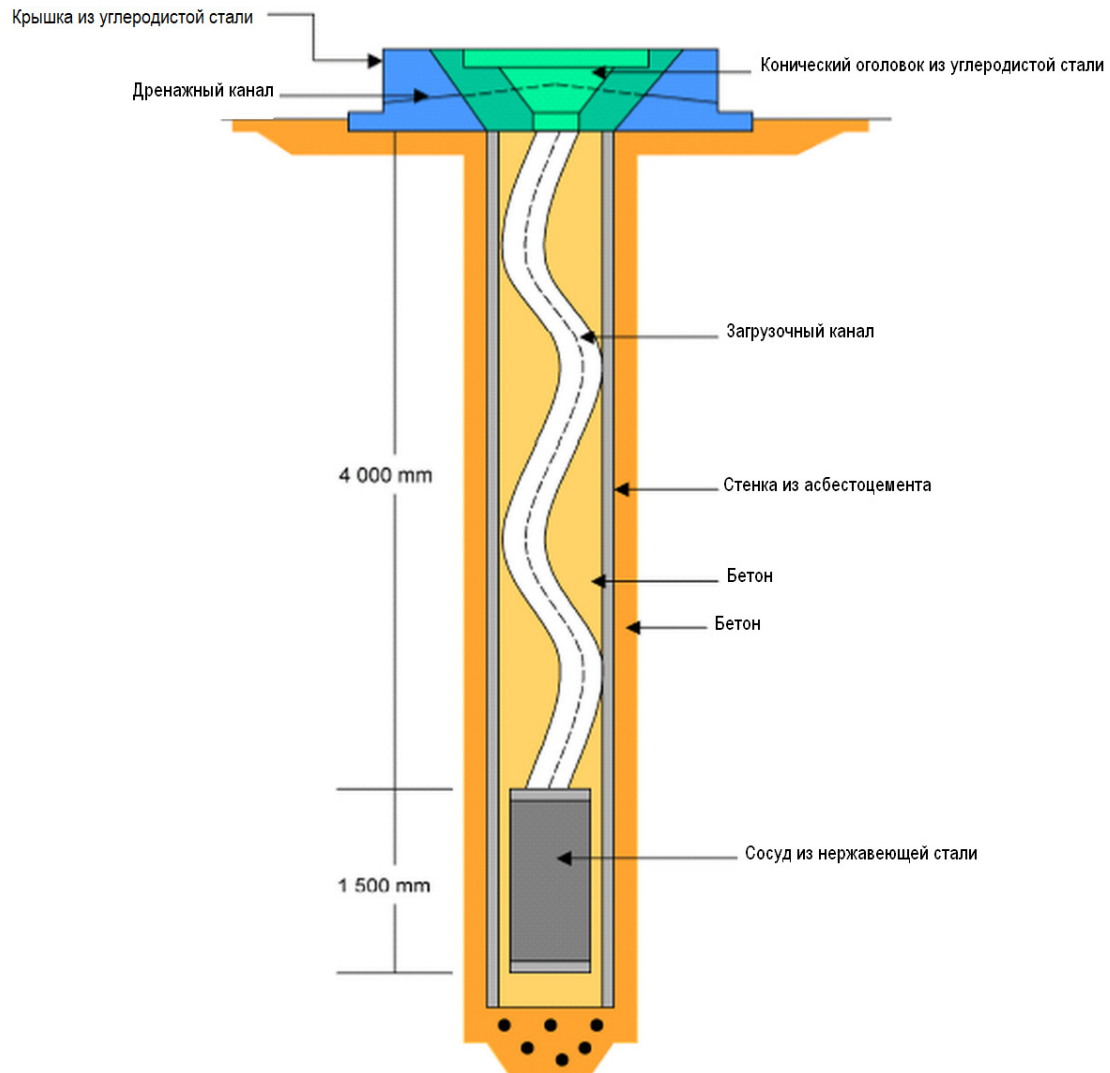


РИС. 110. Конструкция применяемого в Российской Федерации скважинного хранилища «радонового» типа.

В настоящее время проектируются новые пункты захоронения скважинного типа как дополнение к обычным пунктам приповерхностного захоронения, которые либо уже работают, либо находятся на стадии проектирования [89, 90]. Кроме того, в сотрудничестве с южноафриканской компанией «Некса» МАГАТЭ разработало концептуальный проект пункта скважинного захоронения специально для безопасного захоронения ИЗРИ [73, 85, 86].

Эта концепция скважинного захоронения (схематически показана на рис. 111) предполагает помещение ИЗРИ в обустроенную скважину, пробуренную и эксплуатируемую непосредственно с поверхности. Скважинное захоронение планируется в основном как небольшая по объему деятельность, которая не нуждается в масштабной программе научных исследований и изысканий на площадке.

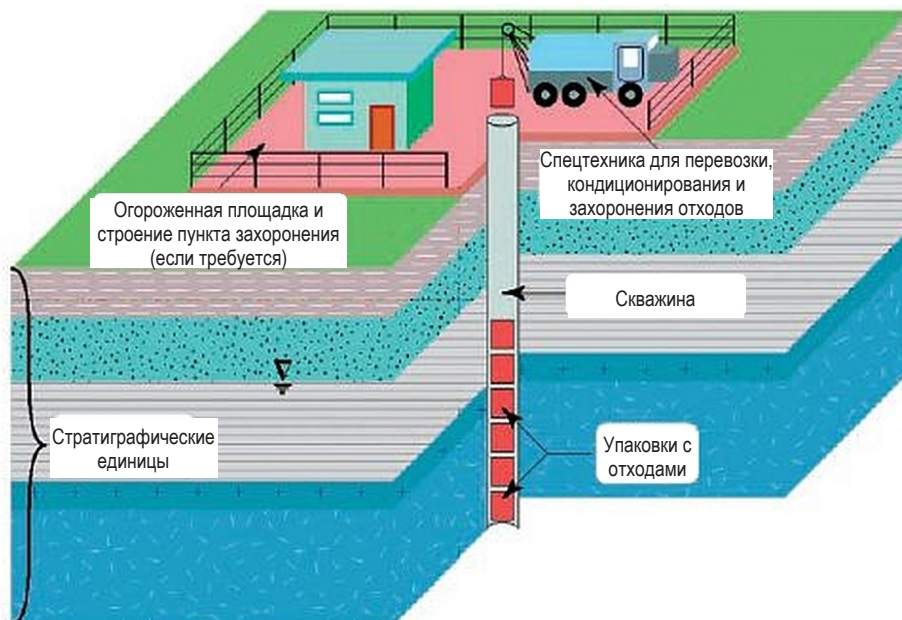


РИС. 111. Схематическое изображение концепции скважинного захоронения и соответствующего пункта захоронения отходов.

С точки зрения требований безопасности скважинное захоронение ничем не отличается от захоронения радиоактивных отходов как в приповерхностных пунктах, так и в геологических формациях. Поскольку диапазон глубин, которые достигаются при скважинном захоронении, по существу, близок к глубинам, характерным как для приповерхностного, так и для геологического захоронения, учитываются аспекты безопасности и того, и другого способа. Как и в случае приповерхностного и геологического захоронения, для обеспечения безопасности скважинного захоронения применяется сочетание естественных и инженерных барьеров. В совокупности эти барьеры призваны локализовать радиоактивные материалы до тех пор, пока в результате распада их активность не снизится до незначительного уровня, и обеспечить достаточные для защиты людей и окружающей среды параметры изоляции и локализации [91]. Указания по организации обращения с отходами перед захоронением в целях достижения требуемого уровня эксплуатационной безопасности и безопасности после закрытия объекта (например, в части соблюдения требований защиты и соответствующих критериев) для новых пунктов скважинного захоронения приводятся в [91].

12.3. ВОЗНИКШИЕ ПРОБЛЕМЫ И ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

12.3.1. Приповерхностное захоронение

Пункты приповерхностного захоронения ОНАО и НАО созданы во многих государствах-членах. Однако специфические характеристики многих ИЗРИ не соответствуют КПО, установленным для уже работающих пунктов. К ним можно отнести описанные ниже характеристики.

- Уровни активности. Основным свойством ИЗРИ категорий 1 и 2 является высокая остаточная активность.

- Высокая удельная активность. Удельная активность большого числа высокоактивных источников превышает предельные значения для отходов, допустимых к захоронению на приповерхностных пунктах, установленные для того, чтобы в случае непреднамеренного вмешательства человека избежать неприемлемой дозы облучения.
- Физические и химические характеристики. Несмотря на то что закрытые источники производятся с усиленной конструкцией корпуса, нельзя сказать, что они не поддаются разрушению. Степень рассеяния радионуклидов и потенциал их миграции определяются химической формой радиоактивного содержимого.
- Тепловыделение и доза облучения. Ввиду высокой удельной активности источников категории 1 могут образовываться локальные очаги повышенной температуры, что может приводить к снижению изолирующих свойств одного или нескольких барьеров.
- Газообразование. Необходимо учитывать возможность образования газа в результате радиолиза, формирования продуктов радиоактивного распада и коррозии.

Имели место случаи захоронения некоторых некондиционированных ИЗРИ в сочетании с другими отходами на пунктах приповерхностного захоронения с неподходящими характеристиками площадки, что давало основания для серьезных опасений по поводу безопасности ввиду высокой активности и долгоживущего характера радионуклидов в этих источниках. Эти опасения неизменно приводили к тому, что в некоторых странах, таких как Венгрия, Литва и Эстония, в рамках программ модернизации хранилищ соответствующие государственные органы рассматривали возможность извлечения и возвращения высокоактивных и долгоживущих ИЗРИ [82].

Так, в Латвии в период с 1960-х до начала 1990-х годов захоронение ИЗРИ производилось на хранилище «Радон» близ города Балдоне. С тех пор захоронение ИЗРИ больше не разрешается, и в настоящее время они извлекаются и перевозятся в новое временное хранилище камерного типа. Будущие меры в отношении как уже захороненных, так и находящихся на хранении ИЗРИ будут зависеть от оценки безопасности, по итогам которой будет определена необходимость принятия тех или иных восстановительных мер.

В Литве в период с 1963 по 1988 год захоронение ИЗРИ производилось в приповерхностном хранилище «Майшягала». В недавнем прошлом это хранилище было снято с эксплуатации, и в 2004–2006 годах был осуществлен проект его модернизации. Захороненные в нем отходы планируется извлечь, как только будут доступны возможности геологического захоронения.

В обосновании безопасности многих пунктов приповерхностного захоронения предполагается, что в течение некоторого периода (обычно от нескольких десятков до сотен лет) они будут находиться под ведомственным контролем и что в этот период вмешательство человека маловероятно. Однако даже на этот период и особенно на более длительные сроки, на протяжении которых достаточного распада высокоактивных и долгоживущих источников не произойдет, допускается вероятность того, что ведомственный контроль в полном объеме больше осуществляться не будет, в связи с чем нельзя исключать случайного вмешательства человека и связанных с этим радиационных рисков.

12.3.2. Геологическое захоронение

Затраты на сооружение пунктов геологического захоронения весьма высоки. Трудно обосновать сооружение таких хранилищ в странах, где имеется лишь небольшое количество долгоживущих ИЗРИ. Возможным решением может стать проектирование подходящего пункта скважинного захоронения или изучение возможности разделения обязанностей по захоронению в региональном масштабе. В последнем случае возникают вопросы, касающиеся возможности создания международных хранилищ; они более подробно рассматриваются, к примеру, в [92].

12.3.3. Скважинное захоронение

Экономически эффективным и безопасным вариантом захоронения, особенно для стран с ограниченной ядерной инфраструктурой, потенциально может стать концепция скважинного захоронения, разработанная МАГАТЭ специально для изъятых из употребления радиоактивных источников [73, 91]. Она особенно привлекательна для тех стран, в которых имеются только ИЗРИ и отсутствуют другие объекты по захоронению радиоактивных отходов.

Некоторые проблемы безопасности, связанные с захоронением в скважинных хранилищах «радонового» типа, удастся смягчить за счет кондиционирования неэкранированных источников на месте с использованием металлического сплава с низкой температурой плавления и реализации в проекте хранилища возможности извлечения источников [93]. Тем не менее эта практика, которую ранее планировалось применять для захоронения источников, в настоящее время рассматривается как способ организации их хранения.

Кроме того, в Российской Федерации разработана новая конструкция контейнера для долгоживущих радиоактивных источников, которая позволяет извлекать хранящиеся под землей ИЗРИ для их отправки на окончательное захоронение. Конструкция этого контейнера представляет собой подземный резервуар для хранения источников емкостью 106 дм³. Он предназначен для хранения ИЗРИ с суммарной радиоактивностью $3,7 \times 10^{14}$ Бк (10 кКи).

ИЗРИ принимаются на захоронение в хранилище радиоактивных отходов «Нови хан» в Болгарии. По соображениям безопасности лицензия на эксплуатацию этого объекта в 1994 году была приостановлена. Впоследствии в целях повышения безопасности хранилища была начата масштабная программа модернизации [82].

Еще одним примером скважинного захоронения изъятых из употребления закрытых источников является хранилище в поселке Пюшпёксиладь в Венгрии, расположенное на склоне холма примерно в 40 км к северу от Будапешта. Захоронение отходов производится в несколько различных приповерхностных сооружений (камеры и скважины), оборудованных инженерными барьерами. Размещенные в скважинах долгоживущие ИЗРИ изначально планировалось там захоронить, но этот подход был пересмотрен — теперь считается, что источники находятся на хранении и будут извлечены перед тем, как отправиться на захоронение в геологическое хранилище.

13. ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ

Требования безопасности МАГАТЭ [62, 72] предусматривают, в частности, разработку обоснования безопасности вместе с дополняющей его оценкой безопасности. Обоснование безопасности — это совокупность научных, технических, административных и управленческих аргументов и доказательств в пользу безопасности пункта захоронения, которые касаются пригодности площадки, проектирования, строительства и эксплуатации пункта захоронения, оценки радиационных рисков и гарантии достаточности и качества всех работ, связанных с безопасностью пункта захоронения. Оценка безопасности — неотъемлемая часть обоснования безопасности — базируется на систематической оценке радиационных опасностей и является важным компонентом обоснования. Обоснование безопасности включает количественную оценку дозы радиации и возможных радиационных рисков для сравнения с критериями дозы и рисков и дает представление о работе предприятия в нормальных условиях и в нештатной ситуации, учитывая сроки, в течение которых радиоактивные отходы остаются опасными. Обоснование безопасности и дополняющая его оценка безопасности дают основания для демонстрации безопасности, а также для лицензирования. Они будут меняться по мере создания объекта, и с их помощью будут приниматься и обосновываться решения по размещению, проектированию и эксплуатации. Обоснование безопасности будет также главным предметом диалога с заинтересованными сторонами и главным основанием для уверенности в безопасности объекта. В руководствах по безопасности МАГАТЭ [94, 95] содержатся руководящие указания и рекомендации по выполнению требований безопасности для обоснования безопасности и дополняющей его оценки безопасности при обращении с радиоактивными отходами перед захоронением и при захоронении.

Согласно определению в [1], оценка безопасности — это «оценка всех аспектов практической деятельности, которые связаны с защитой и безопасностью; в случае разрешенной (имеющей официальное разрешение) установки она включает выбор площадки, проектирование и эксплуатацию установки». Оценка безопасности играет важную роль на протяжении всего жизненного цикла установки или деятельности, когда решения по вопросам безопасности принимаются проектировщиками, конструкторами, изготовителями, эксплуатирующей организацией или регулирующим органом. Начальная разработка и использование оценки безопасности закладывают основу для получения необходимой информации с целью подтверждения выполнения соответствующих требований безопасности, а также для совершенствования и актуализации оценки безопасности на протяжении жизненного цикла установки или деятельности.

Для установок и деятельности по обращению с изъятными из употребления закрытыми источниками как особым потоком отходов, включая вывод из эксплуатации, необходимо выполнять оценку безопасности с целью подтверждения того, что основы безопасности являются адекватными или, точнее говоря, что такие установки и виды деятельности отвечают требованиям безопасности, установленным регулирующим органом [96]. Оценка безопасности должна подтверждать также, что упаковки для ИЗРИ будут обеспечивать достаточную локализацию радионуклидов при нормальной эксплуатации, а также при постулируемых инцидентах и авариях.

13.1. ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

В публикации МАГАТЭ «Основополагающие принципы безопасности» [28] говорится, что «основополагающая цель безопасности — защита людей и охрана окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения». Эта цель применяется в отношении всех установок и видов деятельности, связанных с обращением с ИЗРИ, и должна достигаться на всех этапах их жизненного цикла без неоправданного ограничения применения технологии.

Стадии жизненного цикла установки или деятельности, на которых оценка безопасности проводится, обновляется и используется проектировщиками, эксплуатирующей организацией и регулирующим органом, включают [96]:

- a) оценку площадки для установки или деятельности;
- b) разработку проекта;
- c) строительство установки или осуществление деятельности;
- d) ввод установки в эксплуатацию или организацию деятельности;
- e) начало эксплуатации установки или осуществления деятельности;
- f) нормальную эксплуатацию установки или нормальное осуществление деятельности;
- g) модификацию проекта или эксплуатации;
- h) периодическое рассмотрение безопасности;
- i) продление жизненного цикла установки сверх первоначального проектного срока;
- j) изменения, касающиеся владения или управления установкой;
- k) вывод из эксплуатации и демонтаж установки;
- l) закрытие хранилища для захоронения радиоактивных отходов и стадию после закрытия;
- m) восстановление площадки и ее освобождение от регулирующего контроля.

Для многих установок и видов деятельности требуется проведение оценки экологического воздействия и нерадиологического риска до начала строительства установки или осуществления деятельности. Оценки этих аспектов в целом будут иметь много общего с оценкой безопасности, предметом которой являются соответствующие радиационные риски. Эти разнородные оценки могут быть объединены с целью экономии ресурсов, а также повышения доверия к полученным результатам и их приемлемости.

В «Основополагающих принципах безопасности» [28] определены десять принципов, которые применяются для достижения основополагающей цели безопасности. Это обуславливает, в частности, требование о проведении оценки безопасности. Взаимосвязь между «Основополагающими принципами безопасности» и оценкой безопасности подробно разбирается в [96], где устанавливаются также общеприменимые требования, которые необходимо выполнять при проведении оценки безопасности установок и деятельности, с уделением особого внимания глубокоэшелонированной защите, количественному анализу и применению дифференцированного подхода к широкому спектру рассматриваемых установок и видов деятельности. В этой публикации рассматривается также вопрос о необходимости проведения независимой проверки оценки безопасности ее исполнителями и пользователями результатов. Эта публикация призвана стать последовательной и согласованной основой оценки безопасности всех установок и видов деятельности, что облегчит передачу положительного опыта между организациями, проводящими оценки безопасности, а также поможет повысить уверенность всех заинтересованных сторон в достижении надлежащего уровня безопасности установок и деятельности.

В оценке безопасности должны учитываться внутренние события, связанные с технологическим процессом (внутренний пожар, падение упаковок с отходами, разгерметизация упаковок с отходами, отказ вентиляции, обесточивание и т. д.), и внешние опасности (например, авиакатастрофы, транспортные аварии за пределами установки, землетрясения, торнадо и внешние пожары).

13.2. ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

На рис. 112 [96] показаны основные элементы процедуры оценки безопасности и ее проверки. Она предполагает проведение систематической оценки всех связанных с безопасностью характеристик данной установки или деятельности и включает:

- a) подготовку к оценке безопасности в плане сведения воедино экспертных ресурсов, инструментов и информации, необходимых для выполнения работы;
- b) определение возможных радиационных рисков, возникающих в результате нормальной эксплуатации, ожидаемых при эксплуатации событий или аварийных условий;
- c) определение и оценку всего комплекса функций безопасности;
- d) оценку характеристик площадки, связанных с возможными радиационными рисками;
- e) оценку мер по обеспечению радиологической защиты;
- f) оценку инженерно-технических аспектов с целью определения степени выполнения проектных требований безопасности в отношении данной установки или деятельности;
- g) оценку связанных с человеческим фактором аспектов проектирования и эксплуатации установки или планирования и осуществления деятельности;
- h) оценку безопасности в более долгосрочной перспективе, имеющую особое значение при возможном развитии эффектов старения, которые могут повлиять на запас безопасности, процессы вывода из эксплуатации и демонтажа установок, а также закрытие хранилищ радиоактивных отходов.

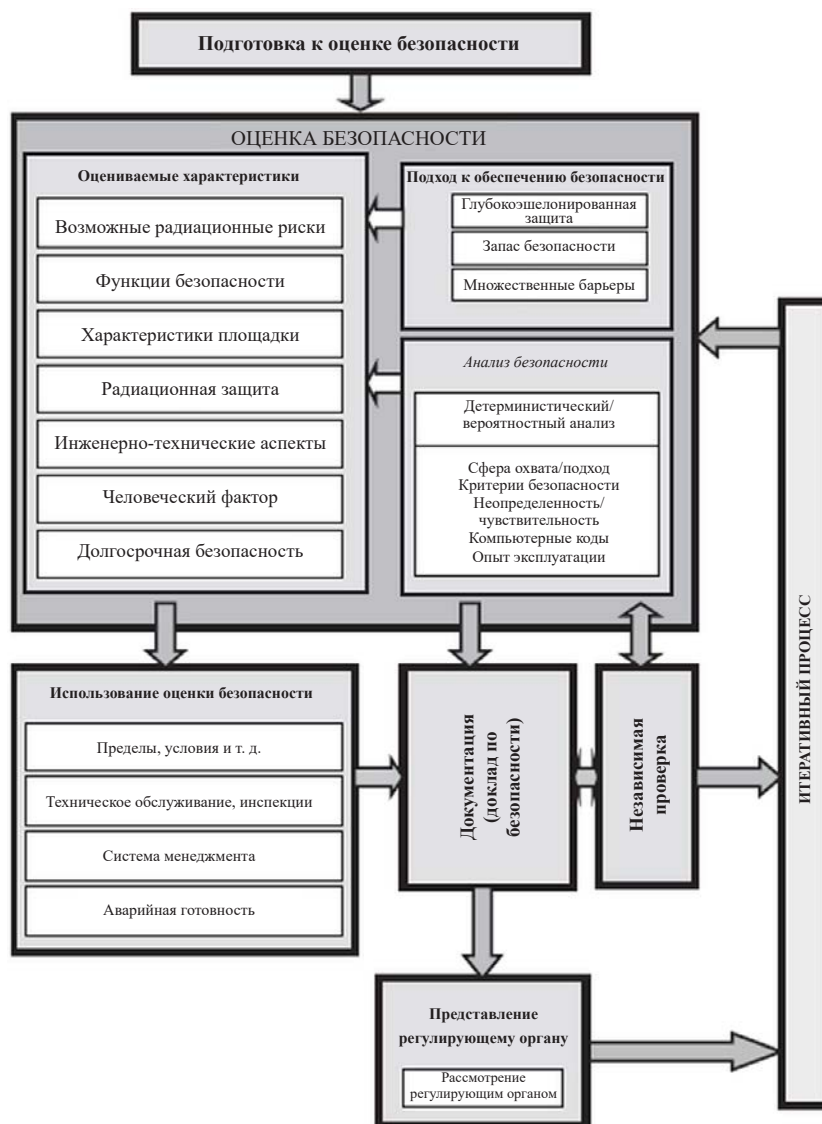


РИС. 112. Общая схема процесса оценки безопасности [96].

Оценку безопасности следует проводить с должным учетом всех соответствующих нормативных документов и руководств по безопасности, касающихся потенциальных опасностей на каждой стадии обращения с отходами. Оценка безопасности должна охватывать все операции и опасности, изначально присущие каждому аспекту обращения с радиоактивными отходами на установке. Оценка безопасности может также требоваться в случае практической деятельности по обращению с отходами за пределами объекта, в том числе и при транспортировании отходов.

По мере необходимости процесс оценки безопасности установок и деятельности повторяется полностью или частично позднее — в ходе эксплуатации и деятельности, чтобы учесть изменившиеся обстоятельства (например, применение новых норм или научно-технический прогресс), накопленный опыт эксплуатации, произведенные модификации и последствия старения. В отношении эксплуатации и деятельности, которые осуществляются в течение длительных периодов времени, оценки анализируются и повторяются по мере необходимости. Продолжение эксплуатации и деятельности зависит от этих последующих оценок, на основании которых регулирующий орган должен удостовериться, что меры по обеспечению безопасности остаются адекватными.

В случае, когда речь идет о хранилище для больших объемов радиоактивных отходов, необходимо учитывать радиационные риски на стадии после его закрытия. Радиационные риски после закрытия хранилища могут быть результатом постепенно развивающихся процессов, таких как деградация барьеров, а также единичных событий, которые могут влиять на изоляцию отходов, таких как случайное вмешательство человека или резкое изменение геологических условий.

В оценке безопасности следует рассматривать весь диапазон ожидаемых характеристик отходов, а также оценивать воздействия и влияние на окружающую среду установки при ее нормальной эксплуатации и в случае возможных аварийных ситуаций. Это связано с определением путей переноса радионуклидов в окружающей среде и их потенциального контакта с человеком. Значения приемлемых уровней всех жидких и газообразных отходов, которые допускается планово сбрасывать в окружающую среду с установки, следует рассчитывать исходя из потенциального воздействия. Также следует оценивать пригодность оборудования, используемого для мониторинга и контроля уровней таких сбросов. Оценки безопасности следует периодически пересматривать и при необходимости обновлять на основе результатов мониторинга рабочих мест и окружающей среды.

Рекомендации по подготовке оценки безопасности приповерхностного захоронения радиоактивных отходов приведены в [97]. Общие сведения об оценке безопасности после закрытия и разработке обоснования безопасности для пунктов скважинного захоронения содержатся в [86, 98]. Рекомендации по разработке и пересмотру оценок безопасности работ по выводу из эксплуатации приведены в [99].

14. ВЫВОДЫ

В настоящей публикации представлен обзор различных этапов обращения с изъятыми из употребления радиоактивными источниками с целью дать государствам-членам практические указания по вопросам манипулирования, кондиционирования, перевозки и хранения всех видов ИЗРИ, образующихся в ходе медицинской, промышленной, научно-исследовательской деятельности и в рамках других ядерных применений. Эти рекомендации, хотя и отвечают основным нормам безопасности и соответствующим требованиям безопасности, являются лишь одним из способов выполнения этих требований. Предполагается, что для того, чтобы используемые в той или иной организации процедуры и фактические инструкции были настолько эффективными, насколько позволяют ее специфика и имеющаяся инфраструктура, она должна принимать в расчет реальные условия и текущую ситуацию.

Выводы, сделанные в рамках настоящей публикации, могут быть сведены к следующему.

- a) Виды применения и характеристики ЗРИ, используемых в медицине, промышленности и научных исследованиях, чрезвычайно разнообразны. В промышленности и медицине используется большое число портативных закрытых источников, значительная часть которых — это источники малого размера и низкого уровня активности. В этой связи неудивительно, что, несмотря на инвентарный учет и контроль, имеет место утеря отдельных источников. Конструкция большинства закрытых источников достаточно прочна, поэтому чрезвычайные происшествия, связанные с утерянными источниками, как правило, происходят из-за человеческого фактора. Высокоактивные источники не относятся к числу легко перемещаемых, однако если с ними неправильно обращаться, можно подвергнуться высокому риску переоблучения.
- b) Условием эффективного обращения с источниками является полное установление их радиологических, химических и физических характеристик. Идентификация и характеристика недокументированных ЗРИ — весьма непростая задача. Эффективным инструментом для идентификации закрытых источников и связанных с ними устройств может служить подготовленное МАГАТЭ справочное руководство по идентификации радиоактивных источников и устройств [21].
- c) Все виды деятельности, связанные с использованием изъятых из употребления источников и обращением с ними, должны быть включены в систему нормативного регулирования. Ключевой вопрос с точки зрения административного контроля заключается в точном определении момента, когда источник переходит в категорию изъятых из употребления. Это несложно сделать, когда производится замена источника или закрывается объект, где он использовался. Однако зачастую этот процесс носит более растянутый характер (например, когда источник для исследовательских целей используется все реже). Именно на этом этапе источники в наибольшей степени подвержены риску утраты. В рамках системы регулирования следует проводить различие между используемыми и изъятыми из употребления источниками. Один из способов — требовать от пользователей регулярно представлять регулирующему органу инвентаризационную опись с отдельным перечислением используемых/изъятых из употребления источников. Для источников, использование которых постепенно сходит на нет, этого может быть недостаточно. Соответственно, второй способ может заключаться в том, что в отчетности должна указываться дата последнего использования каждого источника. При этом может быть установлен предельный срок, по истечении которого неиспользование источника автоматически переводит его в статус изъятого из употребления.
- d) Для всех этапов и элементов стратегии по обращению с ИЗРИ должна быть внедрена современная система управления, охватывающая вопросы манипулирования, упаковки, обучения персонала, аудита, оценки безопасности, соответствующие нормативные требования и ведение учета.

- e) В зависимости от ситуации неиспользуемые источники могут быть возвращены поставщику, переданы другому пользователю, утилизированы в той стране, где они использовались, либо утилизированы в третьей стране, готовой их принять. К сожалению, изъятые из употребления источники часто выбрасываются. Иногда выброшенные источники становятся причиной радиологических аварий. Такие аварии, которые происходят даже в государствах-членах с хорошо развитой законодательной и нормативной базой, приводят к облучению, а в некоторых случаях и к смерти людей. Поэтому крайне важно, чтобы у регулирующего органа были необходимые инструменты для эффективного контроля над всеми имеющимися в государстве-члене источниками излучения, которые представляются наиболее значимыми. Важно также, чтобы регулирующий орган находился в тесном контакте с владельцами лицензий на использование этих источников.
- f) В принципе, разумным решением является возврат ИЗРИ поставщику, как это предусмотрено в Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами ([13], статья 28). В то же время на практике могут возникать трудности из-за особенностей законодательства государства-члена и/или финансовых затруднений, например, когда поставщик прекратил свою деятельность или предприятия-изготовителя источника больше не существует.
- g) Хранение изъятых из употребления источников на объекте пользователя — не лучшее решение с точки зрения обеспечения безопасности и сохранности. Есть определенный риск того, что изъятые из употребления источники, которые хранятся в месте их эксплуатации, будут утрачены. Вероятность потерять контроль над изъятыми из употребления источниками снижается при их централизованном хранении. Время хранения у пользователя должно быть сведено к минимуму, причем как пользователь, так и регулирующий орган должны уделять особое внимание таким аспектам, как контроль доступа, сохранность, надлежащий учет, наличие индивидуальной ответственности и проведение регулярных проверок (например, испытаний на герметичность).
- h) То, какие меры по разделению источников необходимо принять, зависит от хранилища и стратегии окончательного захоронения. Рекомендуется раздельное хранение потенциально пригодного для переработки или повторно используемого материала. Принципы разделения в большинстве случаев основываются на мощности дозы (важный фактор в контексте хранения), изотопном составе/периоде полураспада и активности (важные факторы в контексте захоронения).
- i) В силу некоторых характеристик изъятых из употребления источников (высокая удельная активность, высокая активность, длительный период полураспада и т.д.) многие источники не могут быть захоронены на пунктах приповерхностного захоронения. Поскольку глубинные геологические хранилища еще не созданы, единственным вариантом обращения с источниками является их долгосрочное хранение. Привлекательным вариантом может быть захоронение в скважинах; в настоящее время эта концепция находится в стадии разработки. До тех пор, пока ситуация не изменится, основные усилия должны быть направлены на соответствующую подготовку проблемных источников к хранению путем их надлежащего кондиционирования и обеспечение безопасных условий хранения для кондиционированных источников. Экономически эффективным вариантом обращения с источниками может быть создание централизованных предприятий по переработке отходов, обслуживающих несколько пользователей.
- j) Предприятия по обращению с отходами должны внедрять такие технологии кондиционирования изъятых из употребления источников, которые представляются наиболее экономичными с точки зрения закупки и эксплуатации и при этом удовлетворяют всем местным и национальным требованиям. Выбор технологии, особенно в развивающихся государствах-членах, должен делаться в пользу относительно простого, надежного решения, которое является легкодоступным и удобным с точки зрения технического обслуживания и подходит для работы с изъятыми из употребления источниками. Для

кондиционирования долгоживущих источников с целью их дальнейшего извлечения и повторного кондиционирования перед отправкой на захоронение может быть рекомендовано использование капсул из нержавеющей стали, крышка которых впоследствии заваривается.

- k) В случаях, когда на первое место выступают соображения экономии места, может потребоваться разборка устройств с источниками. Она должна выполняться только в надлежащим образом изолированных и экранированных помещениях персоналом, имеющим соответствующую квалификацию и опыт. Если такие сооружения и опыт отсутствуют, на коммерческой основе или по линии двусторонних или международных программ помощи за рубежом могут быть приобретены соответствующие передвижные системы и приглашены группы экспертов.
- l) Еще до приобретения источника должна быть определена стратегия его утилизации и, по возможности, одновременно должны быть заключены коммерческие договоренности. Хотя сегодня этот подход становится стандартным, для многих старых источников во многих странах стратегии временного хранения/захоронения предусмотрены не были. Возврат на предприятие-изготовитель обычно считается более предпочтительным вариантом, чем передача в централизованное промежуточное хранилище. По мере возможности следует изучать варианты повторного использования или переработки источника, однако маловероятно, что такие стратегии могут быть определены на момент его приобретения. Вариант возврата источника изготовителю может открыть возможности для переработки.
- m) Все операции по передаче изъятых из употребления источников в централизованное хранилище/пункт захоронения должны осуществляться в соответствии с надлежащими процедурами менеджмента качества. Для подтверждения передачи ответственности оператор централизованного пункта выдает грузоотправителю свидетельство о приеме источника на утилизацию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] 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).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nature and Magnitude of the Problem of Spent Radiation Sources, IAEA-TECDOC-620, IAEA, Vienna (1990).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in San Salvador, IAEA, Vienna (1990).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna (2002).
- [9] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Loss of an Iridium-192 Source and Therapy Misadministration at Indiana Regional Cancer Center, Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992, NUREG-1480, NRC, Washington, DC (1993).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности — промежуточное издание, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3, МАГАТЭ, Вена (2011).
- [12] 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).
- [13] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, Серия изданий МАГАТЭ по международному праву, № 1, МАГАТЭ, Вена (1997).
- [14] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handling, Conditioning and Storage of Spent Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1145, IAEA, Vienna (2000).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Conditioning and Interim Storage of Spent Radium Sources, IAEA-TECDOC-886, Vienna (1996).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Spent High Activity Radioactive Sources (SHARS), IAEA-TECDOC-1301, IAEA, Vienna (2002).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Disused Long Lived Sealed Radioactive Sources (LLSRS), IAEA-TECDOC-1357, IAEA, Vienna (2003).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methods to Identify and Locate Spent Radiation Sources, IAEA-TECDOC-804, IAEA, Vienna (1995).
- [20] FÖLDIAK, G. (Ed.), Industrial Application of Radioisotopes, Akadémiai Kiadó, Budapest (1986).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Identification of Radioactive Sources and Devices: Technical Guidance, IAEA Nuclear Security Series No. 5, IAEA, Vienna (2006).
- [22] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection: Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, ISO 9978:1992, ISO, Geneva (1992).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA, Vienna (2005).
- [24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1344, IAEA, Vienna (2003).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Security of Radioactive Sources, IAEA Nuclear Security Series No. 11, IAEA, Vienna (2009).

- [26] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION Sealed Radioactive Sources: Classification, ISO 2919:1980, ISO, Geneva (1980).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources: A Safety Fundamental, Safety Series No. 120 (1996).
- [28] ЕВРОПЕЙСКОЕ СООБЩЕСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Основопологающие принципы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).
- [29] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Государственная, правовая и регулирующая основа обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 1, МАГАТЭ, Вена (2011).
- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Generators and Sealed Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.10, IAEA, Vienna (2006).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Control of Radiation Sources, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-1.5, IAEA, Vienna (2004).
- [32] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-3, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [33] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение системы управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2009).
- [34] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations, Code and Safety Guides Q1–Q14, Safety Series No. 50–C/SG-Q, IAEA, Vienna (1996).
- [35] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система менеджмента для переработки радиоактивных отходов, обращения с ними и их хранения, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.3, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [36] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.4, IAEA, Vienna (2008).
- [37] 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, УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО КООРДИНАЦИИ ГУМАНИТАРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации, Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR-2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [38] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Методика разработки мероприятий по реагированию на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию (новая редакция IAEA-TECDOC-953), Серия изданий по аварийной готовности и реагированию, EPR-Method-2003, Вена (2009).
- [39] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards No. GS-G-2.1, Vienna (2007).
- [40] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся радиоактивных материалов и связанных с ними установок, Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 14, МАГАТЭ, Вена (2011).
- [41] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Surveillance and Monitoring of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, Safety Reports Series No. 35, IAEA, Vienna (2004).
- [42] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces, Technical Reports Series No. 120, IAEA, Vienna (1971).
- [43] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Strengthening Control over Radioactive Sources in Authorized Use and Regaining Control over Orphan Sources. National strategies, IAEA-TECDOC-1388, IAEA, Vienna (2004).
- [44] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Authority Information System (RAIS), Computer software and instructions manual, Version 2.0, IAEA, Vienna (1999).
- [45] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.2, IAEA, Vienna (1999).

- [46] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, National Strategy for Regaining Control over Orphan Sources and Improving Control over Vulnerable Sources, IAEA Safety Series No. SSG-19, IAEA, Vienna (2011).
- [47] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов: издание 2012 года, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SR-R-6, МАГАТЭ, Вена (2013).
- [48] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Disposal Options for Disused Radioactive Sources, Technical Reports Series No. 436, IAEA, Vienna (2005).
- [49] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Developing Multinational Radioactive Waste Repositories: Infrastructural Framework and Scenarios of Cooperation, IAEA-TECDOC-1413, IAEA, Vienna (2004).
- [50] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Политика и стратегии обращения с радиоактивными отходами, Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии, № NW-G-1.1, МАГАТЭ, Вена (2012).
- [51] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Юридическая и государственная инфраструктура ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности радиоактивных отходов и безопасности перевозки, Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [52] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Review of the Factors Affecting the Selection and Implementation of Waste Management Technologies, IAEA-TECDOC-1096, IAEA, Vienna (1999).
- [53] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Locating and Characterizing Disused Sealed Radioactive Sources in Historical Waste, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.17, IAEA, Vienna (2008).
- [54] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY International Catalogue of Sealed Radioactive Sources and Devices, IAEA, Vienna (2004).
- [55] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages, Technical Reports Series No. 383, IAEA, Vienna (1997).
- [56] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization, IAEA-TECDOC-1537, IAEA, Vienna (2007).
- [57] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Clearance Levels for Radionuclides in Solid Materials, IAEA-TECDOC-855, IAEA, Vienna (1996).
- [58] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control, Safety Series No. 89, IAEA, Vienna (1988).
- [59] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля, Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № RS-G-1.7, МАГАТЭ, Вена (2006).
- [60] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Reference Design for a Centralized Spent Sealed Sources Facility, IAEA-TECDOC-806, IAEA, Vienna (1995).
- [61] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Interim Storage of Radioactive Waste Packages, Technical Reports Series No. 390, IAEA, Vienna (1998).
- [62] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 5, МАГАТЭ, Вена (2010).
- [63] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Storage of Radioactive Waste: Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-6.1, IAEA, Vienna (2006).
- [64] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development of Specifications for Radioactive Waste Packages, IAEA-TECDOC-1515, IAEA, Vienna (2006).
- ARUSTAMOV, A.E., OJOVAN, M.I., SEMENOV, K.N., SOBOLEV, I.A., Preparation of radium and other spent sealed sources containing long-lived radionuclides to long-term storage (Proc. WM'03 Conf. Tucson, 2003), (2003) CD-ROM.
- [65] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, IAEA, Vienna (2009).
- [66] OJOVAN, M.I., et al., An Introduction to Nuclear Waste Immobilization, Elsevier, Amsterdam (2005).
- [67] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials (Proc. Int. Conf. Dijon, 1998), IAEA, Vienna (1999).
- [68] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Córdoba, 2000), IAEA, Vienna (2000).
- [69] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Issues and Trends in Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Vienna, 2002), IAEA, Vienna (2003).

- [70] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Security of Radioactive Sources (Proc. Int. Conf. Vienna, 2003), IAEA, Vienna (2003).
- [71] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, IAEA, Vienna (2011).
- [72] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, BOSS: Borehole Disposal of Disused Sealed Sources. A Technical Manual, IAEA-TECDOC-1644, IAEA, Vienna (2011).
- [73] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repositories (Proc. Workshop Aix-en-Provence, 1991), OECD, Paris (1992).
- [74] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Microbial Degradation of Low-Level Radioactive Waste, Rep. NUREG/CR-6341, Office of Standards Development, NRC, Washington, DC (1996).
- [75] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Gas Generation and Migration in Radioactive Waste Disposal (Proc. Workshop Reims, 2000), OECD, Paris (2001).
- [76] EUROPEAN COMMISSION, PROGRESS Project: Research into Gas Generation and Migration in Radioactive Waste Repository Systems. Final Report, Rep. EUR 19133 EN, EC, Luxembourg (2000).
- [77] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Considerations in the Development of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 417, IAEA, Vienna (2003).
- [78] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Considerations in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1256, IAEA, Vienna (2001).
- [79] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of Low and Intermediate Level Waste, Technical Reports Series No. 412, IAEA, Vienna (2002).
- [80] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Considerations in the Disposal of Disused Sealed Radioactive Sources in Borehole Facilities, IAEA-TECDOC-1368, IAEA, Vienna (2003).
- [81] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Upgrading of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 433, IAEA, Vienna (2005).
- [82] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Issues Relating to Safety Standards on the Geological Disposal of Radioactive Waste (Proc. Mtg Vienna, 2001), IAEA-TECDOC-1282, IAEA, Vienna (2002).
- [83] PROZOROV, L., TKATCHENKO, A., TITKOV, V., KORNEVA, S., Prospects of Large Diameter Well Construction at 'Radon' Sites, HLW, LLW, Mixed Wastes and Environmental Restoration — Working Towards a Cleaner Environment, Waste Management 0,1, Tucson (2001).
- [84] VAN BLERK, J.J., VIVIER, J.J.P., PIROW, P., ANDREOLI, M.A.G., HEARD, R.G., The Borehole Disposal Concept for Spent Sources, Volume I: Development and Evaluation of the Concept, NECSA Rep. GEA-1353 (NWS-RPT-00\013), NECSA, Pretoria (2000).
- [85] KOZAK, M.W., STENHOUSE, M.J., VAN BLERK, J.J., The Borehole Disposal of Spent Sources, Volume II: Preliminary Safety Assessment of the Disposal Concept, NECSA Rep. GEA-1353 (NWS-RPT-00\013), NECSA, Pretoria (2000).
- [86] COCHRAN, J.R., et al., Compliance Assessment Document for the Transuranic Wastes in the Greater Confinement Disposal Boreholes at the Nevada Test Site, Vol. 2: Performance Assessment, Rep. Sand 2001-2977, Sandia National Laboratories, NM (2001).
- [87] HARTLEY, B.M., et al., "The establishment of a radioactive waste disposal facility in Western Australia for low level waste", Nuclear Energy, Science and Technology (Proc. 9th Pacific Basin Nucl. Conf. Sydney, 1994), AE Conventions Pty Ltd, Canberra (1994).
- [88] ANGUS, M.J., CRUMPTON, C., McHUGH, G., MORETON, A., ROBERTS, P.T., Management and Disposal of Disused Sealed Radioactive Sources in the European Union, European Commission Rep. EUR-18186EN, EC, Brussels (2000), <http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/synopses.htm#18186>
- [89] EUROPEAN COMMISSION, Management of Spent Sealed Radioactive Sources in Central and Eastern Europe (Czech Rep., Estonia, Hungary, Poland and Slovenia), Report EUR-19842EN, EC, Brussels (2001), <http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/synopses.htm#19842>
- [90] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Borehole Disposal Facilities for Radioactive Wastes, IAEA Safety Standards Series No. SSG-1, IAEA, Vienna (2009).
- [91] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical, Institutional and Economic Factors Important for Developing a Multinational Radioactive Waste Repository, IAEA-TECDOC-1021, IAEA, Vienna (1998).
- [92] OJOVAN M.I., DMITRIEV S.A., SOBOLEV I.A., "Long-term storage and disposal of spent sealed radioactive sources in borehole type repositories", Waste Management '03 (Proc. Int. Conf. Tucson, 2003), CD-ROM, p.11.
- [93] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSG-3, IAEA, Vienna (2013).

- [94] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, IAEA (2012).
- [95] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Facilities and Activities: General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4, IAEA, Vienna (2008).
- [96] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [97] OJOVAN M.I., GUSKOV A.V., PROZOROV L.B., ARUSTAMOV A.E., POLUEKTOV P.P., SEREBRIAKOV B.E., Safety assessment of bore-hole repositories for sealed radiation sources disposal, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 608, (2000) 141–146.
- [98] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.2, IAEA, Vienna (2008).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БТПХ	болезнь «трансплантат против хозяина»
ВАО	высокоактивные отходы
ВМД	высокая мощность дозы
ДИЗРИ	долгоживущие изъяты из употребления закрытые радиоактивные источники
ЖСС	жидкостной сцинтилляционный счетчик
ЗРИ	закрытый радиоактивный источник
ИЗРИ	изъятый из употребления закрытый радиоактивный источник
ИСО	Международная организация по стандартизации
КМ	копирующий манипулятор
КПО	критерии приемлемости отходов
КРМ	координатор радиоактивного материала
НАО	низкоактивные отходы
НМД	низкая мощность дозы
НРА	неразрушающий анализ
ОК	обеспечение качества
ОКЖО	очень короткоживущие отходы
ОНБ	Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности
ОО	освобожденные от контроля отходы
РАИС	Информационная система для регулирующих органов
РИТЭГ	радиоизотопный термоэлектрический генератор
РСС	рекомендованный срок службы
САО	среднеактивные отходы
ЦООРО	центральная организация по обращению с радиоактивными отходами
ALARA	на разумно достижимом низком уровне
RWMR	Регистр данных по обращению с радиоактивными отходами

Приложение

РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗЪЯТЫМИ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ

В данном приложении рассматриваются опасности, в частности радиологические, которые связаны с ИЗРИ.

Наиболее тяжелые аварии с неиспользуемыми источниками происходят, когда источники попадают в руки непрофессионалов, которые не знают, что имеют дело с радиоактивным материалом, поскольку оборудование или держатели источников, содержащие отработавшие источники, могут выглядеть как обычный металлолом (см. рис. А-1). Утрата контроля над ИЗРИ может повлечь за собой также риск утраты, хищения или незаконного присвоения источника. Кроме того, изъятые из употребления источники потенциально опасны тем, что они могут быть намеренно похищены для злоумышленного использования или незаконного оборота.

Прошлые аварии показали, что радиация по своей природе и из-за уже имевших место событий обладает уникальной способностью вызывать страх и тревогу у населения. Чтобы вызвать экономические последствия, радиоактивного материала необязательно должно быть много — даже небольшое количество материала может вызвать сильнейший психологический эффект. Благодаря соответствующим мерам физической безопасности можно снизить вероятность таких ситуаций.

А-1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОПАСНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗЪЯТЫМИ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ

Аварии, связанные с ИЗРИ, могут привести к следующим последствиям [А-1]:

- внутреннее и/или внешнее облучение организма человека и сопутствующие радиационные поражения (например, эритема, повреждение тканей, поражения, требующие ампутации, и даже смерть) в результате чрезмерного облучения;
- загрязнение материала или окружающей среды вследствие разгерметизации и рассеивания радиоактивного содержимого ЗРИ (разрушение герметичной капсулы, переплавка вместе с металлоломом и т. д.);
- экономические убытки, связанные с лечением, радиационным наблюдением в связи с аварией, дезактивацией, демонтажем, обращением с отходами и их захоронением, а также издержки, связанные с потерей производственных мощностей, выплатой денежной компенсации лицам, подвергшимся чрезмерному облучению, социальными расходами и невозможностью использовать сам источник.

Вообще говоря, риск — это возможность или вероятность того, что человек пострадает или испытает неблагоприятные последствия для здоровья, столкнувшись с опасностью, и его уровень зависит от степени вероятности (насколько возможно то или иное событие) и тяжести последствий (масштаб негативного воздействия). На риски, связанные с контактом с ИЗРИ, влияют характеристики источника, среда, в которой происходит контакт, и действия вовлеченных лиц. Радиоактивные источники, содержащие долгоживущие радионуклиды, такие как ^{241}Am и ^{226}Ra , будут представлять потенциальную опасность и через тысячи лет. Короткоживущие радиоизотопы, напротив, становятся безопасными гораздо быстрее. После распада за десять периодов полураспада их активность снижается примерно в 1000 раз. Источник для дистанционной лучевой терапии, содержащий ^{60}Co с начальной активностью 100 ТБк, распадется до более безопасного уровня за 100 лет, в то время как источнику ^{137}Cs с такой же активностью для этого потребуется 600 лет, а источнику для радиологии, содержащему ^{192}Ir — всего четыре года.

Последствия аварии, связанной с контактом с ЗРИ, прямо пропорциональны его активности [А-2]. Вред от обращения с источником альфа- или бета-излучения мощностью, измеряемой в киловеккерелях, будет незаметен, однако контакт с аналогичным терабеккерелевым источником может привести к летальным последствиям (обратите внимание, что это относится только к источникам бета- и/или гамма-излучения).



РИС. А-1. Списанное оборудование, содержащее изъятые из употребления источники.

А-2. ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Воздействие любого радиационного облучения зависит от типа излучения, связанного с источником. При передаче энергии ионизирующего излучения живой ткани вероятно ее повреждение. Чем выше интенсивность падающего излучения, тем больше степень повреждения. Поэтому именно передача энергии живой ткани или поглощение энергии тканью определяет степень повреждения ткани и, следовательно, травму. Ионизация ткани может происходить как прямо, как в случае с альфа- и бета-излучением, так и опосредованно, как в случае с нейтронным и гамма-излучением. Альфа-частицы, обладая высокой удельной ионизирующей способностью, имеют низкую проникающую способность.

Ионизирующая способность гамма-излучения и пучка нейтронов зависит от их энергии. Источники нейтронов (например, Am-Be, Ra-Be, Pu-Be) требуют особенно осторожного

обращения, поскольку нейтроны, испускаемые этими источниками, представляют собой более опасный вид излучения. Более того, в случае поглощения окружающей средой нейтроны могут вызывать искусственную радиоактивность.

Если говорить о детерминированном (нестохастическом) эффекте для организма человека, то существуют пороговые дозы, ниже которых характерные последствия не проявляются. При значениях поглощенной энергии свыше 3 Зв облучение всего тела может быть смертельным для человека, а при значениях свыше 7 Зв — приводит к смерти. Если облучению подвергается только часть тела, человек может выдержать и более высокие дозы, но поражение может быть настолько серьезным, что облученную часть, возможно, придется удалить. Система категоризации источников МАГАТЭ [А-3] основана на детерминированных эффектах.

Источники категории 1, если с ними не обращаться безопасным образом и не обеспечивать их надежную защиту, вполне могут причинить непоправимый вред человеку во время выполнения действий или иного контакта с ними в течение более чем нескольких минут. При нахождении на близком расстоянии от неэкранированного радиоактивного материала в течение периода от нескольких минут до одного часа вероятен смертельный исход.

Источники категории 2, если с ними не обращаться безопасным образом и не обеспечивать их надежную защиту, могут причинить непоправимый вред человеку во время выполнения действий или иного контакта с ними в течение короткого интервала времени (от нескольких минут до нескольких часов). При нахождении на близком расстоянии от неэкранированного радиоактивного материала в течение периода от нескольких часов до нескольких дней возможен смертельный исход.

Источники категории 3, если с ними не обращаться безопасным образом и не обеспечивать их надежную защиту, могут причинить непоправимый вред человеку во время выполнения действий или иного контакта с ними в течение более чем нескольких часов. Очень маловероятно, чтобы кто-либо, находясь в непосредственной близости к источнику, подвергался облучению в течение более чем нескольких часов на столь малом расстоянии.

Для стохастических эффектов, в основном для развития рака и генетических эффектов, пороговой дозы не существует; риск того или иного эффекта считается пропорциональным дозе. Риск развития рака, который может привести к летальному исходу, составляет $2-4 \times 10^{-2}$ на Зв, в то время как риск развития тяжелых наследственных эффектов меньше: около 10^{-2} на Зв. Более полная картина воздействия ионизирующего излучения на человека и окружающую среду представлена в [А-4–А-8].

Ключевыми элементами радиационной защиты и снижения облучения являются время, расстояние и экранирование. Радиологический риск зависит от этих же элементов. Радиационное облучение может причинить больше вреда, если люди дольше подвергаются облучению, находятся ближе к источнику излучения, а экранирующего материала между источником и людьми меньше. Эти элементы снижают вероятность нанесения серьезного вреда большому количеству людей по той причине, что поместить много людей на длительное время в непосредственной близости от источника трудно, и даже само человеческое тело создает определенную защиту, поэтому толпа людей в некоторой степени экранирует радиоактивный источник. Единичный источник, даже крупный, может не оказать серьезного или длительного психосоциального или экономического воздействия.

В случае повреждения источника воздействие на окружающую среду может заключаться в загрязнении зданий и территории в целом. Высокая удельная активность радиоактивного материала в закрытых источниках означает, что попадание в окружающую среду всего лишь нескольких микрограммов их содержимого может создать значительный риск для человека, лишив людей возможности пользоваться потенциально загрязненными зданиями и территориями. Затраты на дезактивацию могут быть очень высокими. Аварии с изъятиями из употребления источниками уже приводили к масштабному загрязнению окружающей среды и высоким затратам на соответствующие работы по дезактивации.

А-3. ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Попытки умышленного отравления большого количества людей содержащимися в закрытых источниках радионуклидами с целью причинить немедленный вред здоровью вряд ли будут удачными, поскольку, например, в пищевых продуктах радиоактивный материал должен содержаться в достаточно высокой концентрации, чтобы иметь детерминированный эффект для организма человека. Гораздо больший вред человеку причиняют бактерии. Таким образом, для воздействия на большую массу людей требуется очень большое количество материала. Растворимый радиоактивный материал может быть занесен в водоемы, однако вследствие разбавления причинение значительного вреда здоровью едва ли возможно: для этого потребовалось бы неправдоподобно большое число радиоактивных источников. Материал может быть занесен в водоем ближе к месту водозабора, но и тогда число пострадавших будет невелико. Не исключено, что попытка отравления людей вызовет недоверие к поставляемым пищевым продуктам или воде, но поскольку вспышки заболеваний, переносимых через пищевые продукты или воду, не так уж и редки, люди в какой-то степени к ним привыкли. Возможно также, что если водохранилище было загрязнено радиоактивным материалом, то потребители будут требовать его очистки, даже если радиоактивный материал никак не влияет на безопасность бытового водоснабжения. Такая очистка может быть дорогостоящей, но в этом случае речь пойдет уже не о попытке отравления людей, а о рассеянии радиоактивного материала, с тем чтобы сделать невозможным использование того или иного объекта.

А-4. РОЛЬ КОНСТРУКЦИИ ИСТОЧНИКА

Во многих областях применения радиоактивных источников требуется, чтобы активность источника была сконцентрирована в очень малом объеме (*точечный источник*) или чтобы он напоминал по форме линию (*линейный источник*). Объем радиоактивного материала обычно составляет порядка кубического сантиметра или нескольких кубических миллиметров, что означает, что сам источник имеет очень малые размеры даже несмотря на то, что в результате герметизации его общий объем увеличивается.

Для герметизации обычно используется нержавеющая сталь, но иногда и платина, титан, алюминий или другие материалы. В ранних конструкциях источников на основе ^{226}Ra использовались золотые, латунные, серебряные и даже стеклянные капсулы. Известны случаи кражи драгоценных металлов, используемых для герметизации радиевых источников, из-за их денежной стоимости, что неоднократно становилось причиной несчастных случаев.

Старые источники (особенно старые радиевые источники) изготавливались по менее жестким стандартам, чем те, которые применяются сегодня. Радиоактивное вещество в этих источниках представляет собой порошок или растворимую соль и в случае повреждения капсулы легко рассеивается.

А-5. НЕКОТОРЫЕ АВАРИИ/ИНЦИДЕНТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВЫШЕДШИМИ ИЗ УПОТРЕБЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ

Очень часто изъятые из употребления источники и их контейнеры собираются непрофессионалами как ценный металлолом. Такие ситуации могут быть очень опасны. Примером тому является авария в городе Гояния, Бразилия, произошедшая в 1987 году из-за бесхозной гамма-терапевтической установки с ^{137}Cs [А-9]. Это произошло, когда частный институт дистанционной лучевой терапии в Гоянии переехал в новое помещение, оставив в старом гамма-терапевтическую установку с ^{137}Cs и не известив об этом лицензионную организацию, как того требовали условия институтской лицензии. Позднее бывшие помещения института

были частично разобраны. В результате гамма-терапевтическая установка оказалась совершенно безнадзорной. Два человека проникли в помещение и, не зная ничего о характере установки, но полагая, что ее можно продать на металлолом, извлекли из головки аппарата капсулу с источником. Они забрали капсулу к себе домой, где она треснула. Позднее обломки капсулы были проданы торговцу металлоломом. Серьезному облучению подверглись 14 человек; четверо из них умерли, а остальным потребовалось длительное лечение. Более 12 000 человек были тщательно обследованы на предмет радиационного облучения, из них у 249 человек были обнаружены признаки внешнего или внутреннего загрязнения. Произошло сильное радиоактивное загрязнение окружающей среды. Общий объем загрязненных отходов, образовавшихся в ходе восстановительных мероприятий, составил 3500 м³. Для смягчения последствий этого происшествия потребовалось международное сотрудничество. Прямые расходы на дезактивацию и строительство двух бетонных хранилищ отходов оцениваются в 15 млн долл. США.

Другое чрезвычайное происшествие с изъятыми из употребления закрытыми источниками имело место в 1997 году в Грузии [А-10], где у 11 военнослужащих было обнаружено радиационно-индуцированное поражение кожных покровов. Его причиной было то, что, вопреки правилам, 12 радиоактивных источников на основе ¹³⁷Cs, ранее использовавшихся в армии, были оставлены без контроля.

Третий пример такого рода — происшествие в 1994 году в Эстонии, где три человека проникли в неохраняемый пункт захоронения отходов, изъяли источник на основе ¹³⁷Cs и привезли его к себе домой [А-2]. В результате один человек погиб, а несколько других членов семьи получили дозы облучения, причем у некоторых из них развились радиационные ожоги кожи.

Другие происшествия связаны с переплавкой изъятых из употребления источников, которые попали в металлолом. Было много случаев по всему миру, когда радиоактивные материалы непреднамеренно расплавлялись в процессе переработки металлолома.

В 1983 году в Мексике имел место случай, когда источник для дистанционной лучевой терапии на основе ⁶⁰Co был переплавлен в литейном цехе в северной части страны. Загрязненная стальная арматура, изготовленная в ходе этого процесса, была использована в строительстве зданий в Мексике и США, следствием чего стало облучение нескольких тысяч человек и снос нескольких загрязненных домов. Аналогичный случай имел место в 1998 году в Европе, где на металлургическом заводе на юге Испании был расплавлен источник на основе ¹³⁷Cs. Возникшее из-за этого загрязнение воздуха распространялось в течение нескольких дней, пока не было зарегистрировано в южной Франции, Швейцарии, Италии и южной Германии. Загрязнены были также сталелитейный завод и два перерабатывающих предприятия, получившие отходы сжигания материала. Испанский орган по ядерной безопасности потребовал закрыть эти предприятия до проведения мероприятий по дезактивации.

А-6. ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКОВ

На уровне предприятия по обращению с отходами компоненты инфраструктуры, связанные со снижением рисков обращения с ИЗРИ, можно обобщить следующим образом [А-1]:

- хорошее знание конструкции и характеристик источников, доставляемых на предприятие для кондиционирования или хранения. Это предполагает наличие подробной документации и технического описания всех типов источников, ввозимых в страну;
- обученный и опытный персонал (начальное обучение и периодическая переподготовка, в том числе по таким вопросам, как радиационная защита, рабочие регламенты, практические аспекты охраны здоровья и безопасности, характеристики источников, нормативные требования, процедуры административного контроля, требования к документации);
- лицензирование (включая выполнение всех требований компетентного органа);

- система управления (включая письменные процедуры, наблюдение, меры физической безопасности, аварийное планирование);
- регулярный аудит (внутренний и/или внешний).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ К ПРИЛОЖЕНИЮ

- [I-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management for the Prevention of Accidents from Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1205, IAEA, Vienna (2001).
- [I-2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).
- [I-3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA, Vienna (2005).
- [I-4] 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).
- [I-5] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Ionizing Sources: Sources and Biological Effects, 1982 Report, UNSCEAR, New York (1982).
- [I-6] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, 1988 Report, UNSCEAR, New York (1988).
- [I-7] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann.
- [I-8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP (2007).
- [I-9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).
- [I-10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Ali, Q.	ПКАЭ, Пакистан
Balla, J.	Международное агентство по атомной энергии
Beer, H-F.	Институт им. Пауля Шеррера, Швейцария
Benitez-Navarro, J.C.	Международное агентство по атомной энергии
Berci, K.	EROTERV, Венгрия
Braeckeveldt, M.	Nirond, ОНДРАФ/НИРАС, Бельгия
Charette, M-A.	MDS Nordion, Канада
Dayal, R.	консультант, Канада
Degnan, P.	Международное агентство по атомной энергии
Dimitrovski, L.	АНСТО, Австралия
Falvi, L.	Институт изотопов, Венгрия
Fasten, W.	QSA GmbH, Германия
Friedrich, V.	Международное агентство по атомной энергии
Grimm, J.	Министерство энергетики, Соединенные Штаты Америки
Heard, R.	Международное агентство по атомной энергии
Hordijk, L.	Некса, Южная Африка
Kinker, M.	Международное агентство по атомной энергии
Kohli, A.K.	СРИТ, Индия
Mayer, S.	Международное агентство по атомной энергии
Mele, I.	Международное агентство по атомной энергии
Mendoza Valdezco, E.	ФИЯИ, Филиппины
Mourão, R.	НКЯЭ/ЦРЯТ, Бразилия
Neubauer, J.	консультант, Австрия
Niels, Y.	ИРЭ, Бельгия
Novaković, M.	ЕКОТЕН Ltd., Хорватия
Ormai, P.	ПУРАМ, Венгрия
Pearson, M.W.	ЛАНЛ, Соединенные Штаты Америки
Smith, M.	Некса, Южная Африка
Syed Ahmad, S.H.S.	МИНТ, Малайзия
Trifunović, D.	Государственное управление по радиационной защите, Хорватия

Михалевич, П.

Изотопные технологии, Беларусь

Цыпленков, В.

консультант, Российская Федерация

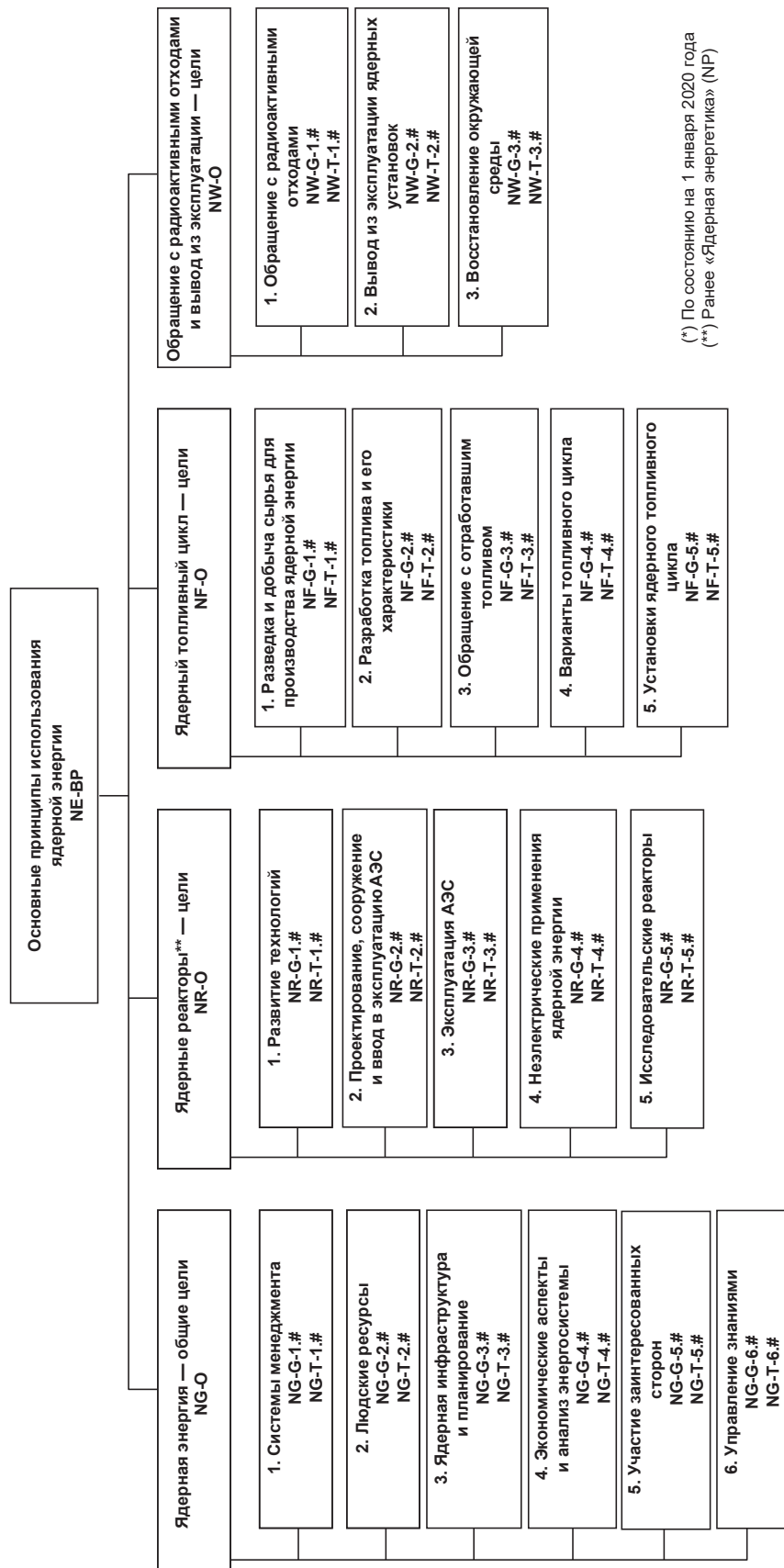
Совещания консультантов

Вена, Австрия: 22–26 ноября 2004 года; 29 ноября — 3 декабря 2004 года; 17–21 октября 2005 года;
31 мая — 4 июня 2010 года

Технические совещания

Вена, Австрия: 28 ноября — 2 декабря 2005 года; 4–8 сентября 2006 года

Структура Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии*



(*) По состоянию на 1 января 2020 года
(**) Ранее «Ядерная энергетика» (NP)

Обозначения

BP: Основные принципы
O: Цели
G: Руководства и методологии
T: Технические доклады
№ 1–6: Обозначение тематик
#: Номер руководства или доклада

Примеры

NG-G-3.1: Общая тематика (NG), руководства и методологии (G), ядерная инфраструктура и планирование (тематика 3), #1
NR-T-5.4: Ядерные реакторы (NR), технический доклад (T), исследовательские реакторы (тематика 5), #4
NF-T-3.6: Ядерное топливо (NF), технический доклад (T), обращение с отработавшим топливом (тематика 3), #6
NW-G-1.1: Обращение с радиоактивными отходами и вывод из эксплуатации (NW), руководства и методологии (G), обращение с радиоактивными отходами (тематика 1), #1

**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

№ 26

ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня.

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550

Эл.почта: orders@rowman.com • Сайт: <http://www.rowman.com/bernan>

ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

Eurospan Group

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

United Kingdom

Торговые заказы и справочная информация:

Тел: +44 (0) 1767604972 • Факс: +44 (0) 1767601640

Эл.почта: eurospan@turpin-distribution.com

Индивидуальные заказы:

www.eurospanbookstore.com/iaea

Дополнительная информация:

Тел: +44 (0) 2072400856 • Факс: +44 (0) 2073790609

Эл.почта: info@eurospangroup.com • Сайт: www.eurospangroup.com

Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)

Международное агентство по атомной энергии

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529

Эл.почта: sales.publications@iaea.org • Сайт: <https://www.iaea.org/ru/publikacii>

