

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Н.С. Пронкин, Р.Б. Шарафутдинов, Н.И. Гераскин

**РЕГУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ**

Под редакцией Н.С. Пронкина

*Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии»
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений*

Москва 2011

УДК 621.032.58(075)

ББК 31.4я7

П81

Пронкин Н.С., Шарафутдинов Р.Б., Гераскин Н.И. **Регулирование безопасности обращения с радиоактивными отходами: Учебное пособие** / Под ред. Н.С. Пронкина. М: НИЯУ МИФИ, 2011. 264 с.

Представлено современное состояние государственного регулирования безопасности обращения с радиоактивными отходами (РАО) всех категорий (жидкие, твердые и газообразные), действующего в России для объектов использования атомной энергии. Рассматриваются вопросы лицензирования, нормативного регулирования и надзора при обращении с РАО.

Приводятся требования к обращению с РАО при сборе, сортировке, переработке, кондиционировании, временном хранении и захоронении РАО. Рассматриваются требования по учету и контролю РАО, а также вопросы физической защиты и транспортировании РАО.

Большое внимание уделено анализу требований нормативной документации по безопасности, их гармонизации с документацией, используемой за рубежом и, прежде всего, с рекомендациями МАГАТЭ.

Для специалистов ядерно-энергетического комплекса России, занимающихся вопросами обеспечения безопасности при обращении с РАО.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 140305 «Ядерные реакторы и энергетические установки», а также специалистов, связанных с обеспечением безопасности окружающей среды и обращения с другими видами отходов. Представляет интерес для широкого круга читателей, интересующихся проблемами обеспечения безопасности в атомной энергетике.

Пособие подготовлено в рамках Программы создания и развития НИЯУ «МИФИ».

Рецензент д-р техн. наук, проф. Н.Н. Блинов

ISBN 978–5–7262–1557–0

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ЧАСТЬ I ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ	12
Глава 1. Классификация РАО	12
1.1. Классификация РАО в России.....	12
1.2. Классификации РАО, рекомендованные МАГАТЭ	21
Задания и вопросы для самоконтроля	30
Глава 2. Основные стадии и принципы обращения с РАО	31
2.1. Основные стадии обращения с РАО	31
2.2. Радиационная и ядерная безопасность	35
2.3. Принципы обращения с РАО	42
2.4. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с РАО	46
Задания и вопросы для самоконтроля	51
Глава 3. Захоронение РАО	53
3.1. Выбор способов захоронения РАО	53
3.2. Принципы и критерии захоронения	55
Задания и вопросы для самоконтроля	63
Глава 4. Оценка безопасности хранилищ РАО	64
Введение.....	64
4.1. Основные этапы оценки безопасности хранилищ	65
4.2. Миграция (утечка) радионуклидов	76
4.3. Изменение характеристик отходов и барьеров с течением времени.....	80
4.4. Постановка задач анализа и примеры расчета моделей	82
Задания и вопросы для самоконтроля	87
Глава 5. Контроль в системе обращения с РАО	89
5.1. Общие сведения	89
5.2. Контроль на различных стадиях обращения с РАО	91
5.3. Контроль хранилищ РАО и ПЗРО.....	95
5.4. Мониторинг окружающей среды	97
Задания и вопросы для самоконтроля	100

ЧАСТЬ II. РЕГУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАО.....	101
Глава 6. Общие вопросы государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии	101
6.1. Ростехнадзор – орган государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.....	101
6.2. Лицензирование – основная функция Ростехнадзора.....	104
6.3. Лицензирование видов деятельности на различных этапах жизненного цикла хранилища РАО.....	108
6.4. Государственный надзор	112
6.5. Нормативное регулирование.....	115
6.6. О системах нормативных документов.....	123
Задания и вопросы для самоконтроля	129
Глава 7. Общие положения обеспечения безопасности при обращении с РАО.....	131
7.1. Требования безопасности в Федеральных законах РФ	131
7.2. Цели и принципы обеспечения безопасности при обращении с РАО.....	135
7.3. Общие требования к обеспечению безопасности.....	137
7.4. Общие требования к обеспечению безопасности при захоронении РАО.....	142
7.5. Обеспечение безопасности при обращении с РАО, накопленными в поверхностных водоемах-хранилищах жидких РАО и хвостохранилищах, а также с РАО, образующимися при добыче и переработке руд и радиоактивных веществ.....	146
Задания и вопросы для самоконтроля	149
Глава 8. Обеспечение качества при обращении с РАО	150
8.1. Система обеспечения качества.....	150
8.2. Программа обеспечения качества	154
8.3. Сертификация.....	159
8.4. Критерии приемлемости РАО	161
Задания и вопросы для самоконтроля	167
Глава 9. Обеспечение безопасности при обращении с РАО до захоронения	169
9.1. Требования безопасности при сборе, переработке и кондиционировании твердых РАО	169
9.2. Требования безопасности при сборе, переработке и кондиционировании жидких РАО	176
9.3. Требования по обеспечению безопасности при обращении с газообразными РАО	184
Задания и вопросы для самоконтроля	186

Глава 10. Обеспечение безопасности при захоронении РАО	187
10.1. Общие вопросы захоронения РАО	187
10.2. Цель, принципы и основные критерии обеспечения безопасности	188
10.3. Требования безопасности на различных этапах жизненного цикла пунктов захоронения РАО	193
10.4. Требования безопасности при приповерхностном захоронении РАО	195
10.5. Общие требования безопасности при захоронении РАО в глубокие геологические формации	200
10.6. Требования безопасности при глубинном захоронении ЖРО	202
Задания и вопросы для самоконтроля	208
Глава 11. Учет, контроль и физическая защита РАО	210
11.1. Учет и контроль	210
11.2. Перевод ядерных материалов в категорию РАО	216
11.3. Учет и контроль ядерных материалов	218
11.4. Физическая защита	220
Задания и вопросы для самоконтроля	221
Глава 12. Транспортирование РАО	222
12.1. Обеспечение безопасности при транспортировании РАО	222
12.2. Требования санитарных правил	227
12.3. Обеспечение физической защиты при транспортировании РАО	229
Задания и вопросы для самоконтроля	231
Глава 13. Отчет по обоснованию безопасности	232
13.1. Общие вопросы	232
13.2. ООБ безопасности хранилища РАО	235
Задания и вопросы для самоконтроля	245
Приложение 1. Факторы, влияющие на безопасность приповерхностного хранилища РАО	246
Приложение 2. Результаты системного анализа обращения с РАО производств ядерного топлива цикла	247
Список литературы	252
Указатель сокращений	263

*Ключевую роль по принятию практических мер к прекращению необоснованного негативного воздействия на окружающую природную среду должны играть законодательные и **нормативно-регулирующие акты** в таких потенциально опасных отраслях, как атомная промышленность.*

Из резолюции конференции МАГАТЭ
по окружающей среде и развитию,
Рио-де-Жанейро, 1992 г.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивные отходы (РАО) образуются при изготовлении ядерного топлива, в процессе его радиохимической переработки, при утилизации приборов и установок, использующих источники ионизирующих излучений (ИИИ), при выводе из эксплуатации объектов атомной техники и т.д. Номенклатура РАО чрезвычайно широка. В настоящее время в России накоплено около $7 \cdot 10^{19}$ Бк [1] различных видов РАО. Причем более 95 % – это отходы предприятий ядерного топливного цикла (ПЯТЦ). До сих пор в стране хранится огромное количество жидких РАО (ЖРО), которые представляют собой значительную потенциальную опасность для населения и окружающей среды.

Накопление РАО является следствием стремительной реализации ядерных оборонных программ и гонки вооружений в 60-70 годы прошлого столетия. Вопросы безопасности, связанные с РАО, в то время были отодвинуты на второй план для решения их будущими поколениями. Современный подход к обращению с РАО¹ не допускает перекладывания любых проблем, связанных с РАО в настоящее время, на плечи будущих поколений.

В России еще 10-15 лет назад отсутствовала нормативная база регулирования безопасности обращения с РАО. В настоящее время разработка и внедрение комплекса нормативных документов по обращению с РАО различных категорий на всех этапах их жизненного цикла в основном завершена. Новые документы гармонизируют

¹ *Обращение с радиоактивными отходами* (radioactive waste management) – все виды деятельности, связанные со сбором, транспортированием, переработкой, хранением и (или) захоронением радиоактивных отходов.

ваны с документами по безопасности в области атомной энергии разного уровня, а также с документами, используемыми международными организациями, в том числе МАГАТЭ.

Основные этапы по совершенствованию системы регулирования ядерной и радиационной безопасности в России при использовании атомной энергии (ИАЭ), в том числе и при обращении с РАО, заключаются в следующем:

- создание Госатомнадзора России – независимого органа государственного регулирования и надзора при использовании атомной энергии на АЭС (1983 г) и на АЭС, ПЯТЦ и в народнохозяйственной деятельности (1991 г.)²;

- вступление в силу Федеральных законов «Об использовании атомной энергии» (1995 г.) и «О радиационной безопасности населения» (1996 г.) [2, 3];

- осуществление разрешительного принципа осуществления деятельности на предприятиях, использующих атомную энергию, сначала в виде временных разрешений (1993-1997 гг.), а затем в виде лицензий (с 1997 г.);

- разработка и введение в практику регулирования системы нормативных документов, регламентирующих все стадии обращения с РАО (1997-2006 гг.);

- ратификация (Федеральный закон от 04.11.2005 №135-ФЗ) Россией «Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами» [4] (далее - Объединенная конвенция) и подготовка первого национального доклада по выполнению обязательств, вытекающих из положений Объединенной конвенции (2006 г.);

- успешное проведение работ по Федеральной целевой программе (ФЦП) «Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996-2005 годы»;

- утверждение Правительством РФ Концепции ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», определяющей основные цели, задачи, организацию

² Более подробно этапы становления Ростехнадзора, изложены в [5,6].

управления и финансы по решению проблемы обеспечения безопасности при обращении с РАО на ближайшее время [7].

В настоящее время на всех предприятиях и в организациях России, имеющих РАО, проводится работа по совершенствованию системы обращения с РАО в соответствии с действующими нормативными документами по безопасности. Имеется определенный опыт успешного решения ряда проблем по обращению с РАО, который позволяет систематизировать вопросы, касающиеся безопасности обращения с РАО в России.

Проблемы обеспечения безопасности при обращении с РАО на объектах ИАЭ и влияния РАО на население и окружающую среду рассматривались в периодических изданиях (журналы «Атомная энергия», «Атомная техника за рубежом», «Вопросы радиационной безопасности», «Безопасность окружающей среды», «Ядерная и радиационная безопасность», «Горный журнал» и др.) и в книгах [8-16]. Однако комплексно вопросы нормативно-правового регулирования безопасности при обращении с РАО не представлены ни в одной работе. Данное учебное пособие – монография ставит своей целью восполнить этот пробел.

Авторы, используя свой многолетний опыт работы в Минатоме и в системе надзора за ядерной и радиационной безопасностью, попытались систематизировать материал по обращению с РАО, дать анализ обращения с РАО с точки зрения современных требований по безопасности, а также влияния обращения с РАО на население и окружающую среду.

Ссылки на нормативные документы в области обращения с РАО ставят материал книги в зависимость от современного содержания цитируемых документов, поскольку их состав и содержание динамично развивается. Тем не менее основное содержание книги, направленное на представление современного состояния с нормативными документами по обращению с РАО в России, оценки и тенденции этого состояния, а также основные принципы обращения с РАО, заложенные в современных требованиях по безопасности, не потеряют актуальности еще длительное время. Поэтому при представлении и анализе требований нормативных документов авторы, в основном, стремились отразить принципиальные вопросы, связанные с обращением с РАО.

Данное пособие состоит из двух частей.

Первая часть (главы 1-5) позволяет познакомиться с процессом обращения с РАО в общем виде, а также со всеми основными проблемами и требованиями по обеспечению безопасности, имеющими место при обращении с РАО. В этой части рассматриваются: классификация РАО как в России, так и в других странах, а также основополагающие принципы обращения с РАО на всех этапах, включая захоронение. Кроме того, приводится современное представление о процессах распространения радиоактивных веществ (РВ) через физические барьеры и возможные способы анализа распространения радионуклидов, а также требования к объему контроля РАО и идентификации РАО при их помещении в хранилище.

Вторая часть книги (главы 6-13) посвящена представлению требований, содержащихся в современных нормативных документах по обращению с РАО на всех этапах их жизненного цикла: от их образования до размещения в хранилища или пункты захоронения РАО (ПЗРО)³. Описана деятельность Ростехнадзора России по лицензированию, надзору и регулированию ядерной и радиационной безопасности при обращении с РАО, а также документы, на основании которых осуществляется эта деятельность. В этой части приведены вопросы обеспечения качества, рассмотрены требования по учету, контролю и физической защите РАО, а также вопросы обеспечения безопасности транспортирования РАО. Отдельная глава посвящена особенностям составления отчета по обоснованию безопасности ООБ), который является важным документом, раскрывающим все стороны обеспечения безопасности при хранении и захоронении РАО.

Справочный аппарат книги позволяет получить дополнительную информацию по вопросам, рассматриваемым в книге.

Материал книги организован таким образом, что каждую главу можно изучать, не привлекая материалы других глав. Тем не менее он весь подчинен одной задаче – всестороннему освещению вопросов регулирования безопасности обращения с РАО.

Авторы ставили целью показать, что за последние годы в стране проделана огромная работа по созданию современной системы

³ Для обозначения объектов хранения и/или захоронения РАО в книге в основном используется термин «хранилище РАО», в соответствии с ст.3 Федерального закона "Об использовании атомной энергии" [2].

нормативно-правового регулирования безопасности при обращении с РАО. Проблеме обеспечения безопасности при обращении с РАО удалось придать положительный импульс в сторону выполнения современных международных рекомендаций, изложенных в документах МАГАТЭ и МКРЗ.

В настоящее время разрабатывается Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами», который является логическим развитием международных обязательств, принятых на себя Россией. Он позволит перевести в правовое поле все вопросы обращения с РАО. Основные положения проекта этого закона рассмотрены в книге.

В создании системы нормативных документов в области обращения с РАО принимали участие специалисты многих научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий⁴. Авторы выражают свою искреннюю признательность за предоставленную возможность использовать результаты деятельности этих специалистов, приводя в тексте ссылки на их работы и, особенно, на нормативные документы, поскольку только специалисты высокого уровня, глубоко понимающие производственный процесс и проблемы обеспечения безопасности, в состоянии создавать нормативно-правовые акты, концентрируя в них практический опыт и знания.

Авторы признательны д-ру техн. наук, профессору, ведущему научному сотруднику ОАО «ВНИПИпромтехнологии» И.Ю.Шишицу, канд. техн. наук, начальнику отдела по учету, контролю, физической защите и нераспространению ядерных материалов НТЦ ЯРБ (1998-2009гг.) Н.Ф. Андрюшину, взявшими на себя нелегкий труд прочтения книги и высказавшим ряд полезных замечаний по её структуре и содержанию.

Авторы благодарны также канд. техн. наук. О.Л. Масанову (ВНИИНМ им. акад. А.А. Бочвара), В.П. Терентьеву (ВНИИТФА) за прочтение и обсуждение материалов глав рукописи, послужив-

⁴ Минатома России (ныне Госкорпорация «Росатом»), Ростехнадзора, НТЦ ЯРБ, ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, ГНЦ «Институт биофизики», ФГУП «ГИ ВНИПИЭТ», ФГУП «ВНИПИПТ», ОАО «ВНИИАЭС», ГУП МосНПО «Радон» и др.

ших значительному улучшению содержания книги за счет выявления неточностей и ошибок.

Авторы будут признательны всем приславшим свои замечания и предложения, как по содержанию книги, так и по проблемам, связанным с нормативно-правовым регулированием обращения с РАО.

Часть I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ РАО

1.1. Классификация РАО в России

РАО – это не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 [17], [18]. В ФЗ «Об использовании атомной энергии» [2] РАО выделяются в отдельный объект применения Закона и определяются как «ядерные материалы (ЯМ) и радиоактивные вещества, дальнейшее использование которых не предусматривается».

К РАО относятся технологические и нетехнологические отходы радиохимических производств (РХП), производств по добыче и обогащению урана, производств по изготовлению тепловыделяющих элементов и сборок, АЭС, а также закрытые радионуклидные источники ионизирующего излучения, выработавшие свой ресурс, используемые в промышленности и лучевой медицине, установки ядерной медицины, вещества и материалы, образующиеся при выводе из эксплуатации объектов ИАЭ и др.

К классификации любого физического объекта можно подходить с разных точек зрения, выделяя те или иные его характеристики. Например, объект можно классифицировать по его размерам, массе, агрегатному состоянию, степени опасности и др. В каждом

конкретном случае подход к классификации определяется целью, которая ставится перед классификатором. Разделение на группы является, как правило, условным. Оно может быть обозначено количественно, а может представлять собой описание свойств объектов, входящих в эти группы.

Основной целью при обращении с РАО является обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, а после захоронения РАО – обеспечение минимального воздействия ионизирующего излучения и радиоактивности на человека и окружающую среду в течение всего срока потенциальной опасности РАО.

Классификация РАО необходима для того, чтобы дифференцировать степень опасности различных категорий РАО при организации работ по обращению с РАО, а также при их учете и контроле.

Классификация для всех видов РАО определена ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002⁵ [18, 19], основой которой является величина минимально значимой удельной активности радионуклидов.

Минимально значимая удельная активность (МЗУА) – удельная активность открытого ИИИ в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы⁶ на использование этого источника, если при этом также превышено значение МЗА.

Минимально значимая активность (МЗА) – активность открытого ИИИ в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы на использование этих источников, если при этом также превышено значение МЗУА.

К РАО относятся не подлежащие дальнейшему использованию вещества, материалы, смеси, изделия, удельная активность техногенных радионуклидов в которых превышает МЗУА (сумма отношений удельных активностей техногенных радионуклидов к их МЗУА превышает 1 для смеси радионуклидов). Значения МЗУА

⁵ В настоящее время классификации РАО в ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002, не совпадают. По видимому, в ближайшее время СПОРО-2002 будет приведен в соответствие с ОСПОРБ-99/2010.

⁶ В настоящее время Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

приведены в приложении 4 НРБ-99/2009 (например, МЗУА имеют следующие величины: тритий-3 – 10^6 , углерод-14 – 10^4 , стронций-90 – 10^2 , технеций-99 – 10^4 , цезий-137 – 10, радон-220 – 10^4 , уран-235 – 10, уран природный – 1, плутоний-239 – 1, америций-241 – 1 Бк/г).

При неизвестном радионуклидом составе отходы являются радиоактивными, если суммарная удельная активность техногенных радионуклидов в них больше:

- 100 кБк/кг – для бета-излучающих радионуклидов;
- 10 кБк/кг – для альфа-излучающих радионуклидов;
- 1,0 кБк/кг – для трансурановых радионуклидов.

При классификации РАО по агрегатному состоянию их разделяют на жидкие (ЖРО), твердые (ТРО) и газообразные (ГРО). Это позволяет упростить формирование требований и условий при обращении с РАО на различных этапах.

К ЖРО относятся не подлежащие дальнейшему использованию органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы, в которых удельная активность техногенных радионуклидов превышает МЗУА (сумма отношений удельных активностей техногенных радионуклидов к их МЗУА превышает 1 для смеси радионуклидов).

К ТРО относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные ЖРО, в которых удельная активность техногенных радионуклидов превышает МЗУА (сумма отношений удельных активностей техногенных радионуклидов к их МЗУА превышает 1 для смеси радионуклидов).

Гамма-излучающие отходы неизвестного состава считаются радиоактивными, если мощность поглощенной дозы у их поверхности (на расстоянии 0,1 м) превышает 0,001 мГр/ч над фоном при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками [19].

ЖРО и ТРО подразделяются по удельной активности на три категории: низкоактивные (НАО), среднеактивные (САО) и высокоактивные (ВАО) (табл.1.1). В случае, когда по приведенным в табл. 1.1 характеристикам радионуклидов РАО относятся к разным кате-

гориям, для них устанавливается наиболее высокое значение категории отходов.

Таблица 1.1

Классификация ЖРО и ТРО

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг			
	Тритий	Бета-излучающие радионуклиды (исключая тритий)	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
НАО	От 10^6 до 10^7	Менее 10^3	Менее 10^2	Менее 10^1
САО	От 10^7 до 10^{11}	От 10^3 до 10^7	От 10^2 до 10^6	От 10^1 до 10^5
ВАО	Более 10^{11}	Более 10^7	Более 10^6	Более 10^5

Для предварительной сортировки ТРО рекомендуется использование критериев по уровню радиоактивного загрязнения (табл.2.1) и по мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками:

- НАО – от 0,001 мГр/ч до 0,3 мГр/ч;
- САО – от 0,3 мГр/ч до 10 мГр/ч;
- ВАО – более 10 мГр/ч.

Таблица 1.2

Классификация ТРО по уровню радиоактивного загрязнения

Категория отходов	Уровень радиоактивного загрязнения, част. / (см ² ·мин)		
	Бета-излучающие радионуклиды	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
НАО	От 500 до 10000	От 50 до 1000	От 5 до 100
САО	От 10^4 до 10^7	От 10^3 до 10^6	От 10^2 до 10^5
ВАО	Более 10^7	Более 10^6	Более 10^5

К ГРО относятся не подлежащие использованию радиоактивные смеси, содержащие газы и (или) аэрозоли, образующиеся при производственных процессах, удельная активность техногенных радионуклидов в которых превышает МЗУА (сумма отношений

удельных активностей техногенных радионуклидов к их МЗУА превышает 1 для смеси радионуклидов).

Выброс техногенных радионуклидов в атмосферный воздух осуществляется в соответствии с нормативами выбросов и разрешительными документами, устанавливаемыми (получаемыми) в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды и законодательством об охране атмосферного воздуха.

Как видно из табл. 1.1 и 1.2, РАО классифицируются по уровню их потенциальной опасности как по вертикали, так и по горизонтали. Высокоактивные трансурановые радионуклиды являются наиболее опасными с точки зрения их долговременного потенциального влияния на человека. Поэтому, например, критерий отнесения РАО с трансурановыми радионуклидами к ВАО составляет 10^5 кБк/кг, самый низкий в табл. 1.2. К трансурановым радионуклидам относятся элементы Периодической системы с атомным номером более 92. Эти элементы практически не присутствуют в земной коре и в настоящее время образуются только в результате ядерных превращений в топливе АЭС и при ядерных взрывах. В результате переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) отходы РХП содержат большое количество трансурановых радионуклидов: изотопы нептуния, плутония, америция, кюрия, берклия, калифорния, эйнштейния, фермия и менделевия. Эти элементы альфа-радиоактивны и имеют большой период полураспада: нептуний-237 ($2,14 \cdot 10^6$ лет), плутоний-239 ($2,41 \cdot 10^4$ лет), америций-241 (432 года) и т.д.

В результате ядерных реакций в активной зоне реактора образуется большое количество химических элементов с изотопами, являющимися источниками различных видов излучений [20]. Часть из них остается значимой после выдержки в течение определенного времени и переходит в отходы РХП.

Классификация РАО в России сложилась исторически и предназначается, в основном, для оценки воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека, является основой для формулирования требований по обеспечению радиационной безопасности на любых этапах обращения с отходами.

Важным аспектом классификации по возможности дальнейшего использования РАО является установление нижних границ по

удельной активности веществ, выше которых вещество может ограниченно использоваться в народном хозяйстве и условно относиться к РАО. При уровнях активности, меньше этих границ, порядок обращения с материалами и изделиями, загрязненными или содержащими радионуклиды, также регламентируется (приложения 3 и 4) ОСПОРБ-99/2010.

Критерием для принятия решения о возможном применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий, содержащих радионуклиды, является ожидаемая индивидуальная годовая эффективная доза облучения, которая при планируемом виде их использования не должна превышать 10 мкЗв.

В связи с этим:

- не вводится никаких ограничений на использование в хозяйственной деятельности любых материалов, сырья и изделий (кроме продовольственного сырья, пищевой продукции, питьевой воды и кормов для животных) при удельной активности техногенных радионуклидов в них менее значений, приведенных в приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010 (например: тритий-3 – 100 (МЗУА: 10^6), углерод-14 – 1 (10^4), стронций-90 – 1 (100), технеций-99 – 1 (10^4), цезий-137 – 0,1 (10), уран-235 – 1 (10), плутоний-239 – 0,1 (1), америций-241 – 0,1 Бк/г (1 Бк/г));

- сырье, материалы и изделия с удельной активностью техногенных радионуклидов от значений, приведенных в приложении 3 ОСПОРБ-99/2010, до значений МЗУА, могут ограничено использоваться при условии, что ожидаемая индивидуальная годовая эффективная доза облучения, которая при планируемом виде их использования не будет превышать 10 мкЗв. При этом в санитарно-эпидемиологическом заключении должен быть указан разрешенный вид использования, а сами материалы подлежат обязательному радиационному контролю. Эти материалы, сырье и изделия могут быть отнесены к РАО с очень низкой удельной активностью (ОНУА).

- числовые значения допустимой удельной активности по основным долгоживущим радионуклидам для неограниченного использования металлов приведены в приложении 4 ОСПОРБ-99/2010 «Допустимые удельные активности основных долгоживущих радионуклидов для неограниченного использования металлов и изделий на их основе».

В любом случае не допускается наличие снимаемого (нефиксированного) радиоактивного загрязнения с поверхности материалов и изделий (металл, древесина и др.), поступающих для использования в хозяйственной деятельности.

Подчеркнем еще раз, что при любом применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий, содержащих радионуклиды, ожидаемая годовая эффективная доза облучения не должна превышать 10 мкЗв, а годовая коллективная эффективная доза не должна быть более 1 чел-Зв. Эти нормы являются также исходными для определения МЗУА и МЗА.

Материалы ограниченного использования при невозможности или нецелесообразности их повторного использования направляются на специально выделенные участки в места захоронения промышленных отходов [17],[18].

В случае невозможности или нецелесообразности дальнейшего использования материалов, изделий и сырья, содержащих радионуклиды с удельной активностью больше МЗУА, с ними необходимо обращаться как с РАО. В табл. 1.3 представлены сводные данные по классификации радиоактивных веществ на РАО и твердые материалы ограниченного и неограниченного использования.

РАО подразделяют также на технологические и нетехнологические. К технологическим отходам относятся растворы, образующиеся непосредственно при переработке облученного топлива, в том числе, после его растворения, после операций извлечения урана, плутония, нептуния, америция, а также после изготовления топлива, таблеток ядерного топлива и др., все РАО, образующиеся непосредственно в процессе проведения технологических операций. Технологические отходы, в основном, относятся к САО и ВАО по приведенной классификации.

К нетехнологическим отходам относятся растворы, образующиеся при вспомогательных операциях: воды спецпрачечных, растворы после дезактивации оборудования, протечки различного вида, трапные воды, регенераты ионообменных установок, конденсаты и др. Нетехнологические отходы, как правило, относятся к НАО.

Важной характеристикой, которая в значительной степени определяет долговременную опасность РАО, является период полурас-

пада радионуклидов, входящих в их состав. Конечно, чем меньше период полураспада, тем быстрее происходит снижение потенциальной опасности радионуклида.

Таблица 1.3

Классификация ЖРО и ТРО и критерии использования твердых материалов, загрязненных радиоактивными веществами (сводная таблица)

Категория отходов	Удельная активность ТРО и ЖРО, кБк/кг (уровень поверхностного радиоактивного загрязнения, част. / (см ² ·мин))				Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности, мГр/ч
	Тритий	Бета-излучающие радионуклиды	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая ТУЭ)	Трансурановые радионуклиды	
Материалы неограниченного использования	Допустимая удельная активность для материалов, сырья, изделий (кроме продовольственного сырья, пищевой продукции, питьевой воды и кормов для животных) по таблице 3 ОСПОРБ-99/2010. Допустимая удельная активность долгоживущих радионуклидов в металлах и изделий на их основе по таблице 4 ОСПОРБ-99/2010				–
Материалы ограниченного использования	Ожидаемая индивидуальная годовая эффективная доза облучения при планируемом виде использования не будет превышать 10 мкЗв.				–
Твердые материалы очень низкой удельной активности	Удельная активность ниже порога отнесения к РАО (МЗУА), но выше чем значения, приведенные в таблице 3 ОСПОРБ-99/2010				–
НАО	От 10 ⁶ до 10 ⁷	Менее 10 ³ (от 500 до 10 ⁴)	Менее 10 ² (от 50 до 1000)	Менее 10 ¹ (от 5 до 100)	От 0,001 до 0,3
САО	От 10 ⁷ до 10 ¹¹	От 10 ³ до 10 ⁷ (от 10 ⁴ до 10 ⁷)	От 10 ² до 10 ⁶ (от 10 ³ до 10 ⁶)	От 10 ¹ до 10 ⁵ (от 10 ² до 10 ⁵)	От 0,3 до 10
ВАО	Более 10 ¹¹	Более 10 ⁷ (более 10 ⁷)	Более 10 ⁶ (более 10 ⁶)	Более 10 ⁵ (более 10 ⁵)	Более 10

В СПОРО-2002 (п.5.7.) к короткоживущим относят отходы, время распада радионуклидов которых до значений ниже МЗУА составляет менее одного года. При таком определении отнесение отходов к короткоживущим зависит как от периода полураспада, так и от начальной активности радионуклидов в отходах. Кроме того, в ОСПОРБ-99/2010 (п.3.12.13.), СПОРО-2002 (п.5.13.), НП-069-06 (п.14.9.) предлагается производить сбор РАО с учетом периода полураспада (менее 15 сут – более 15 сут). Таким образом, можно считать, что РАО с периодом полураспада менее 15 сут относятся к короткоживущим, а с периодом полураспада более 15 сут – к долгоживущим. Изложенный выше подход по отнесению радионуклидов к короткоживущим и к долгоживущим определяется стадией обращения с РАО – *сбором РАО*, когда необходимо как можно раньше отсеять отходы, которые в ближайшее время могут стать нерадиоактивными.

Другой подход связан с захоронением РАО, при котором период полураспада определяет возможность долговременной потенциальной опасности РАО при размещении их в хранилище. Поэтому РАО, предназначенные *для захоронения*, считаются короткоживущими, если они содержат радионуклиды с периодом полураспада менее 30 лет, включая цезий-137, имеющий период полураспада чуть больше 30 лет, и долгоживущими – содержащие радионуклиды с периодом полураспада более 30 лет [21].

В разделе «Цели» проекта ФЗ «О безопасности обращения с радиоактивными отходами» предлагается дополнительно подразделять РАО на следующие виды [22]:

- удаляемые радиоактивные отходы – РАО, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, и иные риски, а также затраты, связанные с их извлечением, последующим обращением и захоронением, не превышают рисков и затрат, связанных с их захоронением в месте нахождения;

- особые (неудаляемые) радиоактивные отходы – РАО, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, и иные риски, а также затраты, связанные с их извлечением из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением и захоронением, *превышают риски и затраты*, связанные с их захоронением в месте нахождения.

Такое разделение позволяет выделить отходы, которые нецелесообразно извлекать из существующих мест хранения и перемещать в другие места для их захоронения, поскольку такие процедуры могут быть связаны с большим радиационным риском (загрязнением территории, облучением персонала и др.).

Кроме того, выделяются накопленные РАО, которые внесены в государственный реестр, и образованы до вступления в силу данного Закона.

Приведем некоторые данные по активности РАО при производстве электроэнергии на легководяном реакторе мощностью 1 ГВт/год (по активности): на рудном заводе – 50 Ки, при производстве твэлов – 12-15 Ки, при работе АЭС – от 10^3 до 10^4 Ки, а на РХП – 10^8 Ки [8].

1.2. Классификация РАО, рекомендуемая МАГАТЭ

Классификация РАО, рекомендуемая в настоящее время МАГАТЭ, предполагает комплексный учет многих свойств (характеристик) РАО, не разделяя их на ЖРО, ТРО, ГРО и не выделяя «санитарную» составляющую опасности РАО. Основная цель этой классификации – определение *наиболее безопасного способа захоронения* для данного вида РАО. МАГАТЭ, как правило, предлагает некие классификационные принципы, исходя из опыта работы стран-участников, и дает *основные ориентиры* для создания национальных классификаций.

Согласно классификации МАГАТЭ хранилища РАО подразделяются на две категории: приповерхностные и хранилища в геологических формациях (геологическое захоронение). В настоящее время в различных странах накоплен большой опыт по эксплуатации хранилищ приповерхностного типа, которые существенно различаются своими техническими характеристиками и конструктивными параметрами. Также много хранилищ находится в стадии проектирования и сооружения.

При классификации РАО рекомендуется также учитывать их происхождение, критичность, радиологические, физические, химические, биологические и другие свойства.

В настоящее время (2010 г.) МАГАТЭ введена в действие клас-

сификация РАО, учитывающая опыт, полученный в последние 15 лет при проектировании и эксплуатации хранилищ РАО [23]. Однако принципы подхода к классификации РАО, основанные на стремлении к обеспечению безопасности их захоронения, были сохранены и в новой редакции классификации РАО.

МАГАТЭ предлагает устанавливать категории (классы) РАО в зависимости от способа их утилизации и захоронения. При этом рассматриваются следующие варианты обращения с РАО:

- выведение или изъятие из сферы регулирования безопасности;
- хранение с целью снижения активности до уровней выведения;
- захоронение в наземных хранилищах упрощенного типа (полигоны промышленных отходов);
- захоронение в приповерхностных хранилищах (траншейного, котлованного, бункерного, шахтного типа), глубина захоронения которых составляет несколько десятков метров;
- захоронение в приповерхностных хранилищах более глубокого заложения (в основном, шахтного типа), на средней глубине от нескольких десятков до нескольких сотен метров;
- захоронение в хранилищах на глубине нескольких сотен метров и более (геологическое захоронение).

На основе этого подхода были определены шесть основных классов РАО, представленные в табл. 1.4.

По существу, прежние классификационные категории (1994 г.) [24] сохранены, но добавлены и новые категории, которые используются практически во всех странах. Характерной особенностью классификации РАО, предлагаемой МАГАТЭ, является описательный характер категорий (без обозначения категорий конкретными величинами) для того, чтобы предоставить эту возможность национальным органам по регулированию безопасности.

В документах МАГАТЭ широко применяются термины «выведение» и «изъятие» материала из сферы регулирования безопасности.

Выведение (освобождение) материала из сферы регулирования безопасности при использовании атомной энергии (clearance) – признание материала, загрязненного или содержащего радионуклиды, *относящегося к сфере регулирования безопасности* при использовании атомной энергии, не относящимся в дальнейшем к

этой сфере, поскольку уровень риска потенциального облучения, обусловленного обращением с этим материалом как с источником излучения является пренебрежительно малым (например выведение из под контроля ИИИ, активность которых значительно уменьшилась со временем).

Изъятие объекта (материала) из сферы регулирования безопасности при использовании атомной энергии объекта или деятельности (exemption) – признание материала, загрязненного или содержащего радионуклиды, *не относящегося к сфере регулирования безопасности* при использовании атомной энергии, не требующим включения в сферу регулирования безопасности в силу того, что уровень риска потенциального облучения, обусловленного обращением с этим материалом как источником излучения, является пренебрежимо малым (например руды, содержащие малое количество радиоактивных веществ).

Заметим, что выражение "выведение материала из сферы регулирования безопасности при использовании атомной энергии" имеет тот же самый смысл, что и "освобождение материала от регламентации нормами радиационной безопасности" или "...освобождения от регламентации федеральными нормами и правилами (ФНП) в области ИАЭ".

Рассмотрим более подробно категории РАО МАГАТЭ, сравнив их с существующими категориями РАО в России (табл. 1.3 и 1.4).

Отходы, не подлежащие контролю – отходы, подобные «свободным» отходам, составляют ту их часть, которая представляет собой фактически промышленные отходы, содержащие радионуклиды в небольших количествах. Для них не требуется принятия мер радиационной защиты, и они могут быть захоронены на свалках общепромышленных отходов или повторно использованы в хозяйственной деятельности. Такие отходы могут выводиться из сферы регулирования безопасности и не требуют дальнейшего регулирующего надзора при обращении с ними. Эффективная индивидуальная доза облучения на всех этапах обращения с этими отходами должна быть не более 10 мкЗв/год.

В результате многих исследований были получены уровни содержания радионуклидов для выведения и изъятия ТРО, приведенные в стандарте по безопасности МАГАТЭ [25]. Цель этого документа – получение согласованных уровней выведения и изъятия

материала, который может транспортироваться из одной страны в другую для неограниченного использования в обеих странах. В приложении к этому документу приведены допустимые значения удельной активности искусственных радионуклидов, рекомендованных МАГАТЭ для материалов, выводимых в большом количестве.

Таблица 1.4

Классификация РАО, рекомендуемая МАГАТЭ

Категория	Характеристика	Способ захоронения
Отходы, не подлежащие контролю	РВ, которые отвечают критериям выведения из сферы регулирования, изъятия или исключения	Нет радиологических ограничений
Очень коротко-живущие РАО (ОКАО)	РАО, которые могут храниться с целью снижения активности до уровней выведения в течение ограниченного периода времени (до нескольких лет) с последующим выведением из сферы регулирования безопасности. РАО, содержащие, в основном, радионуклиды с небольшим периодом полураспада (часто используемые в исследовательских и медицинских целях)	После выведения из сферы регулирования безопасности – неконтролируемое захоронение, использование или сброс
Очень низко-активные РАО (ОНАО)	РАО, которые не удовлетворяют критериям выведения, но для которых не требуется высокий уровень локализации и изоляции (например, бетон, щебень, грунт и строительные материалы с очень низкой удельной активностью)	Захоронение в наземные хранилища упрощенного типа (типа полигонов)
НАО	РАО, удельная активность радионуклидов в которых выше уровней выведения, но с ограниченным количеством долгоживущих радионуклидов	Захоронение в приповерхностные хранилища на глубине до нескольких десятков метров

Продолжение таблицы 1.4

Категория	Характеристика	Способ захоронения
САО	РАО, для которых из-за наличия в них долгоживущих радионуклидов требуется более высокий уровень локализации и изоляции, чем при приповерхностном захоронении. Для некоторых РАО данной группы требуется учет их тепловыделения при их хранении и захоронении. РАО, содержащие долгоживущие радионуклиды, в частности, альфа-излучающие, их потенциальная опасность сохраняется в течение длительного периода времени, превышающего срок установленной для приповерхностного захоронения длительности ведомственного контроля	Захоронение в приповерхностные хранилища на глубине от нескольких десятков метров до нескольких сотен метров.
БАО	РАО, содержащие значительное количество высокоактивных радионуклидов, что приводит к значительному тепловыделению, или содержащие значительное количество долгоживущих нуклидов (ОЯТ, остеклованные РАО, полученные при переработке ОЯТ и др.)	Захоронение в стабильных глубоких геологических формациях на глубине нескольких сотен метров или более

Очень короткоживущие отходы (ОКАО) – отходы, содержащие радионуклиды с очень небольшими периодами полураспада, но с удельной активностью выше уровней выведения или изъятия. Эти отходы подлежат выдержке до тех пор, пока уровень их излучения не понизится до уровня выведения их из-под регулирующего контроля. Такие выдержанные отходы можно хранить на обычных общепромышленных свалках. Отходы этой категории можно назвать «отходами, не подлежащими контролю», но с отложенным реше-

нием по захоронению. Отходы этой категории представляют собой, как правило, препараты и радиоизотопные источники для медицинских и биологических целей, для работы в составе промышленных радиоизотопных и радиометрических приборов и др. По существу, это те же отходы, для которых в ОСПОРБ-99/2010 предписана выдержка в течение 15 сут для естественного спада активности до приемлемых уровней.

Очень низкоактивные отходы (ОНАО) – отходы, удельная активность которых равна или несколько выше (до двух порядков) уровня выведения. Отходы этого типа образуются при добыче и переработке руд (особенно урановых и ториевых), содержащих природные радионуклиды, при демонтаже объектов ИАЭ и др.

Обращение с ОНАО требует принятия мер радиационной защиты, но они должны быть менее строгими, чем для более активных отходов. Хотя эти отходы не подлежат контролю со стороны регулирующих органов, но их целесообразно хранить на специальных полигонах, подобных полигонам промышленных отходов, и в хвостохранилищах. Например, Франция, Швеция и Испания для захоронения ОНАО использует специально оборудованные хранилища.

Прежде чем принять решение о дальнейшем использовании ОНАО предлагается проводить всестороннюю оценку влияния потенциальных доз облучения персонала и населения. В России этой категории РАО соответствует категория материалов ограниченного использования, удельная активность которых ниже границы отнесения РАО к НАО и их дальнейшее использование невозможно или нецелесообразно.

Существенным отличием предлагаемой классификации РАО является введение двух новых категорий РАО: ОКАО и ОНАО, к которым применены «ограниченные» требования по безопасности ввиду их низкой потенциальной опасности.

Другие категории оставлены практически без изменения, за исключением РАО, содержащих большое количество долгоживущих альфа-излучающих радионуклидов, которые должны захораниваться в более глубокие хранилища (до несколько сот метров).

Сравнивая существующую классификацию РАО в России с классификацией МАГАТЭ, можно отметить следующие их особенности:

– основная цель классификации МАГАТЭ – обеспечение безо-

пасности после захоронения в течение всего срока потенциальной опасности захороненных РАО, а основная цель классификации РАО в России – обеспечение безопасности персонала и населения на *начальных стадиях* обращения с РАО (сбор, сортировка, переработка, кондиционирование);

- классификатор МАГАТЭ не разделяет отходы на ЖРО, ТРО и ГРО, как это имеет место в отечественном классификаторе РАО, поскольку подразумевается, что захоронению подлежат только ТРО или отвержденные РАО;

- классификатор МАГАТЭ не устанавливает количественной (четкой) границы между различными категориями отходов (по вертикали), поскольку эти границы (при необходимости) могут устанавливаться национальными нормативными документами в соответствии с особенностями обращения с РАО в данной стране;

- уровень опасности в классификаторе МАГАТЭ зависит от нескольких факторов и, прежде всего, от уровня удельной активности, количества долгоживущих радионуклидов (в частности, альфа-излучающих), уровня тепловыделения РАО, а также от степени локализации и изоляции отходов в хранилище;

- в классификаторе МАГАТЭ степень опасности характеризуется соответствующим количеством долгоживущих радионуклидов и способностью РАО к тепловыделению, а в российском классификаторе степень опасности определяется не только величиной удельной активности, но и типом радионуклидов в РАО;

- классификатор России для РАО с удельной активностью ниже уровня отнесения к НАО не противоречит классификатору МАГАТЭ, поскольку также выделяет:

- «отходы, не подлежащие контролю» (материалы неограниченного использования, п. 3.11.3., 3.11.5. ОСПОРБ-99/2010);

- «очень короткоживущие отходы» (отходы, активность которых спадает до уровня МЗУА в течение года, п. 5.7. СПОРО-2002, РАО с периодом полураспада менее 15 сут п. 3.12.13. ОСПОРБ-99/2010);

- «очень низкоактивные отходы» (отходы, удельная активность ниже порога отнесения к РАО, которые невозможно использовать в дальнейшем, п.3.11.1. и п.3.11.2. ОСПОРБ-99/2010, а также материалы ограниченного и неограниченного использования, п.3.11.3 и п.3.11.4. ОСПОРБ-99/2010).

Таким образом, классификация МАГАТЭ, направленная на обеспечение долговременной безопасности захоронения РАО, может с успехом применяться в России при выборе площадки для захоронения и способа захоронения РАО.

Следует отметить, что в вопросах классификации РАО мировое сообщество ориентируется на рекомендации МАГАТЭ, основываясь на подходе с точки зрения безопасности их захоронения. В свою очередь, МАГАТЭ аккумулируя и анализируя опыт многих стран при выводе из эксплуатации объектов ИАЭ, тенденции в развитии атомной энергетики и изменения в подходах к обращению с РАО и ОЯТ, стремится своевременно учитывать изменения в предлагаемых системах классификации РАО.

Анализ различных публикаций показывает, что нет стран с одинаковыми системами классификации РАО. Исключение составляют некоторые страны СНГ, ранее входившие в состав СССР. Каждая страна устанавливает свою классификацию РАО с учетом источников образования отходов, характеристик и объемов их образования, существующей практики и технологии обращения с РАО, способов захоронения, государственной системы регулирования безопасности обращения с РАО, а также внутривластных решениями относительно развития атомной промышленности и использования атомной энергии в стране в настоящее время и в будущем.

В качестве примера рассмотрим классификацию РАО, принятую во Франции, являющейся лидером освоения атомной энергии в Европе (табл.1.5).

Во Франции [26] остеклованные ВАО и не подлежащие переработке облученное урановое и МОХ-топливо⁷ относят к классу С-отходов; долгоживущие САО (в основном трансураниевые отходы от переработки ОЯТ) – к классу В-отходов. К категории А-отходов относятся РАО, содержащие короткоживущие низко- и среднеактивные бета- и гамма-радионуклиды, и альфа-радионуклиды в небольших количествах (не более 0,1 Ки/т).

Особенность французской классификации РАО состоит в том, что заранее не устанавливаются никакие предельные значения со-

⁷ МОХ-топливо – смешанное уран-плутониевое топливо для использования в АЭС.

держания радионуклидов для отдельных категорий РАО. Максимально допустимое содержание радионуклидов в РАО при данном способе обращения определяется путем проведения анализа безопасности с учетом специфических особенностей данного способа обращения с РАО и особенно их захоронения.

В классификации следует отметить выделение категорий долгоживущих твердых НАО и САО, способы захоронения которых отличаются от захоронения короткоживущих НАО и САО.

Таблица 1.5

Классификация РАО, принятая во Франции

Уровень активности	Способ захоронения		
	Очень короткоживущие (менее 100 дн.)	Короткоживущие (менее 30 лет)	Долгоживущие (более 30 лет)
ОНАО (от 1кБк/кг до 100 кБк/кг)	Выдержка с целью снижения удельной активности до допустимых значений	Захоронение в наземном хранилище в Морвилле (Morvilliers)	
НАО		Наземное хранилище в Об (Centre de l'Aube), кроме РАО, содержащих тритий, и закрытых источников излучения (исследуются)	Заглубленное приповерхностное захоронение глубиной около 15 м
САО			Захоронение в глубоких геологических формациях
ВАО		Захоронение в глубоких геологических формациях	

В заключение этой главы приведем ряд выводов, касающихся общих подходов к классификации РАО, сделанных участниками Международного семинара по гармонизации подходов к обеспечению безопасности в рамках национальной политики и стратегии обращения с РАО, который проходил в 2007 г. в Кейптауне [27].

Специалисты высказали общее мнение, что международные нормы по классификации РАО должны охватывать все виды отходов, в том числе содержащие природные радионуклиды и изъятые из употребления закрытые источники, и предусматривать долгосрочное обращение с ними.

Было достигнуто согласие в отношении того, что РАО с минимальным количеством радиоактивного содержимого имеют право на существование и они должны быть включены в схему классификации.

Было признано, что определенные виды РАО не подходят для приповерхностного захоронения, однако им не требуется та степень изоляции и локализации, которую обеспечивает геологическое захоронение. В отношении таких материалов целесообразным является захоронение на средних глубинах (от нескольких десятков до нескольких сотен метров).

Несмотря на то, что классификация РАО, исходящая из вариантов захоронения, имеет много преимуществ, было признано также, что безопасность каждого захоронения должна быть подтверждена (доказана).

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Для каких целей необходима классификация РАО?
2. Что такое МЗУА?
3. Какие критерии лежат в основе классификации РАО в России?
4. Какие характеристики РАО используются в российском классификаторе РАО для категорирования их на НАО, САО и ВАО?
5. Какие жидкие РАО относятся в России к высокоактивным?
6. Для каких РАО не вводятся никаких ограничений на их использование ?
7. Что такое период полураспада радионуклидов и как он учитывается при категорировании РАО?
8. Что принимается за основу классификации РАО в рекомендациях МАГАТЭ?
9. Назовите категории РАО, рекомендованные МАГАТЭ, и охарактеризуйте их.
10. Какие новые категории РАО введены в 2010 году в документах МАГАТЭ?
11. Чем отличаются ОНАО от НАО в классификации МАГАТЭ?

Глава 2. ОСНОВНЫЕ СТАДИИ И ПРИНЦИПЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

Обращение с РАО – все виды деятельности, связанные со сбором, транспортированием, переработкой, кондиционированием, хранением и (или) захоронением РАО.

РАО характеризуются чрезвычайно разнообразными физическими и химическими формами и свойствами. Однако основные стадии по обращению с любыми РАО имеют много общего [28]. В настоящее время в России разработаны основополагающие и общепризнанные принципы обращения с РАО.

2.1. Основные стадии обращения с РАО

В соответствии с предложениями МАГАТЭ [29] целесообразно разделять обращение с РАО на следующие основные стадии: предварительная обработка, обработка, кондиционирование и захоронение.

Предварительная обработка является первоначальной стадией обращения с РАО, которая начинается сразу после их образования. Эта стадия осуществляется в местах образования отходов и включает их сбор и сортировку с учетом радиационных, физических и химических характеристик в соответствии с классификацией отходов и с учетом методов последующего обращения с ними. Предварительная обработка отходов включает в себя разделение их на радиоактивные и нерадиоактивные, на материалы ограниченного и неограниченного использования.

При предварительной обработке первичных ЖРО и ТРО с сортировкой их по различным группам и категориям должны учитываться способы (технологии) дальнейшей их переработки и виды последующего хранения и/или захоронения. В эту стадию может входить также период промежуточного временного хранения отходов.

Обработка РАО включает операции, цель которых состоит в повышении безопасности и экономической целесообразности обращения с РАО путем изменения их характеристик (в основном за

счет значительного снижения объема отходов). Примерами таких операций являются: сжигание горючих отходов, уплотнение или прессование ТРО, упаривание (выпаривание) ЖРО, осаждение или флоккуляция химических веществ (изменение состава), фильтрация и ионный обмен. Иногда некоторые из этих процессов используются в сочетании друг с другом для обеспечения требуемой эффективности выделения активных составляющих из РАО. На этой стадии часто приходится иметь дело с несколькими видами отходов, поскольку в процессе обработки одни отходы могут переходить в другие. Например, жидкие – в твердые при отверждении ЖРО или газообразные – в твердые при пропускании их через фильтры, а также твердые – в твердые при прессовании и сжигании (зола) или газообразные – в твердые при их сжигании и т.д.

Наиболее сложными и трудоемкими являются операции по обработке ЖРО, которые на предприятиях атомной промышленности и особенно РХП образуются в большом количестве [11], [30]-[33].

Традиционными способами обработки ЖРО низкой и средней категории активности являются химическое осаждение, ионный обмен, выпаривание, фильтрование, мембранные методы.

Очистка ЖРО от радиоактивности при использовании *методов осаждения* происходит за счет сил гравитации и соосаждения, и адсорбции радионуклидов на образовавшихся объемных осадках в системе «отходы – осадитель», а также за счет физического захвата осадками суспензированных коллоидных частиц. Используются различные химические реагенты: гидрооксиды железа, алюминия, титана, фосфаты, сульфаты и сульфиды, ферроцианиды меди, цинка, никеля и т.д. В результате образуется жидкая и твердая фазы. Степень очистки жидкой фазы характеризуется значениями 50 – 100 и более. Твердая фаза обогащается радионуклидами. Жидкая фаза может подвергаться дополнительной очистке, после чего направляться для повторного использования или сбрасываться в окружающую среду.

Очистка ЖРО по *ионообменной технологии* осуществляется с использованием органических и неорганических природных и синтетических материалов. К неорганическим природным материалам относятся глины, природные цеолиты, минералы: вермикулит, клиноптилолит и др. Органические ионообменные материалы представляют собой смолы. В их основу входят, главным образом, по-

листирол и фенолформальдегид, в которые вводятся функциональные группы. Ионообменные смолы позволяют обеспечить высокую степень очистки вод от радионуклидов ($10^2 - 10^4$). Вторичными отходами ионообменных установок являются растворы, полученные при промывке смол (регенерирующие растворы), содержащие значительные количества радионуклидов и солей, и отработанные ионообменные материалы, которые требуют дальнейшей переработки, хранения или захоронения.

Выпаривание является широко распространенным методом переработки ЖРО. Достижимая степень очистки в среднем составляет 10^3 , а в некоторых схемах – 10^6 . В связи с коррозией выпарных аппаратов, пенообразованием, образованием накипи отходы должны проходить предварительную подготовку. Вторичными отходами являются кубовые остатки – растворы пульпы с высоким содержанием нуклидов и солей. Часть нуклидов может оставаться в конденсате и требует организации многостадийного процесса выпаривания. Выпаривание является весьма энергоемким процессом, что снижает эффективность его использования для переработки больших объемов отходов.

Фильтрование обычно используется в качестве вспомогательного процесса для подготовки ЖРО к переработке различными методами. Применяются различные системы фильтров, центрифуги, гидроциклоны. Загрязненный радионуклидами фильтровальный материал требует дальнейшей переработки.

К *мембранным процессам* относятся обратный осмос, электродиализ и ультрафильтрация, которые применяются, в основном, для НАО. В стадии разработки находятся электроосмос, электрохимический ионный обмен и др. Во всех этих процессах также получают вторичные отходы, требующие специального обращения.

Кондиционирование РАО, проводимое с целью повышения безопасности, состоит из операций, в процессе которых РАО превращают в форму, приемлемую для транспортирования, хранения и захоронения. Операции кондиционирования могут включать иммобилизацию РАО, помещение отходов в контейнеры и упаковки. Общепринятые методы иммобилизации состоят в отверждении отходов путем включения их в цемент, битум, стекло [33]-[35], в матрицы легкоплавких металлов, керамические матрицы и др.

Цементирование является наиболее дешевым способом изолирования отходов от воздействия атмосферных газов и природных вод. Однако из-за высокой проницаемости цементных блоков при длительном их хранении происходит выщелачивание радионуклидов, поэтому этот метод кондиционирования считается наиболее приемлемым для НАО.

Битумирование РАО является также недорогим и простым способом иммобилизации отходов. Он сравнительно малочувствителен к виду перерабатываемых отходов. Это могут быть солевые и гидроксидные шламы, концентраты после выпаривания, органические соединения. Радиационная устойчивость битумов довольно высока: удельная активность блоков до 1 Ки/л не вызывает серьезного радиационного повреждения. Однако из-за ряда технологических и эксплуатационных недостатков (в частности, из-за горючести битума) интерес к битумированию в последнее время заметно угас.

Достаточно большие затруднения на РХП вызывает переработка ВАО. Эти отходы длительное время выдерживаются (хранятся) в специальных емкостях и по истечении некоторого времени перерабатываются, как правило, *методом остекловывания*. В настоящее время используются боросиликатные и фосфатные стекла. Однако все стекла обладают недостаточной радиационной стойкостью, поэтому вызывает интерес, разрабатываемый в последнее время синрок-процесс с включением ВАО в керамическую камнеподобную матрицу [7].

Ряд специальных вопросов переработки ТРО и отвержденных РАО всех категорий активности рассматриваются в [30]-[33].

Иммобилизованные отходы в зависимости от их характеристик и удельной активности могут упаковываться в различные контейнеры, начиная от обычных 200-литровых стальных бочек до имеющих сложную конструкцию специальных контейнеров с толстыми стенками и различными устройствами обеспечения безопасности, предназначенных одновременно для транспортирования и хранения РАО. Из специальных контейнеров для хранения РАО можно отметить следующие: в США – контейнеры из нержавеющей стали, у которых пространство между внешней и внутренней оболочками залито свинцом; в Японии – контейнеры из кованой стали; в Швеции – внешний контейнер медь, а внутренний – чугун;

в России – контейнеры из бетона, общие технические требования к которым изложены в [36].

В зависимости от специфики производства некоторые стадии обращения с РАО могут совмещаться. Например, стадии обработки и кондиционирования РАО.

Захоронение РАО является заключительной стадией системы обращения с РАО, при котором РАО помещаются в пункт захоронения (ПЗРО) при соответствующем обеспечении безопасности без намерения их изъятия. Предполагается, что захоронение осуществлено таким образом, что не требует длительного последующего наблюдения и технического обслуживания. Однако это соответствует идеальному случаю, когда ПЗРО имеет барьеры, обладающие достаточными изолирующими свойствами. Поэтому техническое состояние ПЗРО должно находиться под постоянным контролем в течение всего срока потенциальной опасности. Кроме того, периодически должен осуществляться мониторинг района, где находится ПЗРО. Все документы о ПЗРО должны храниться бессрочно.

Изоляция РАО в ПЗРО достигается путем создания вокруг РАО барьеров, препятствующих проникновению отходов в окружающую среду. Барьеры могут быть как естественные (геологическая порода), так и искусственные (например, стенки контейнера). Система изоляции может состоять из многих физических барьеров, что позволяет повысить ее надежность и снизить скорость перехода радионуклидов из РАО в окружающую среду. Конструкция ПЗРО выбирается с учетом физико-химических и радиационных характеристик РАО (подробнее о захоронении РАО в гл. 3 и 4).

Следует отметить, что в России имеется большое количество объектов хранения РАО, для которых стадии переработки, кондиционирования и захоронения еще не осуществлены. К ним могут быть отнесены открытые водоемы-хранилища ЖРО, поверхностные и заглубленные хранилища ТРО и хранилища высокоактивных ЖРО.

2.2. Радиационная и ядерная безопасность

Радиационная безопасность. Обеспечение радиационной безопасности осуществляется на всех стадиях обращения с РАО: сборе

и сортировке, кондиционировании, транспортировании, хранении и захоронении. Главной целью при этом является охрана здоровья персонала и населения от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

Для условий нормальной эксплуатации любого объекта, использующего атомную энергию, устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц в НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 устанавливаются три класса нормативов:

1. Основные пределы эффективных доз:

- 20 мЗв/год для персонала и 1 мЗв/год для лиц из населения в среднем за любые последовательные 5 лет,
- не более 50 мЗв/год для персонала и 5 мЗв/год для лиц из населения;
- не более 1000 мЗв за 50 лет трудовой деятельности для персонала и 70 мЗв за 70 лет жизни для лиц из населения.

К основным пределам доз относятся также установленные в таблице 3.1 НРБ-99/2009 годовые эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза, кожи, стоп и кистей рук.

2. Допустимые уровни воздействия: (производные от основных пределов доз):

- пределы годового поступления с воздухом и пищей для населения (ППП);
- допустимые объемные активности во вдыхаемом воздухе для населения (ДОВА);
- среднегодовые удельные активности (ДУА);
- $УВ^8$ при поступлении с питьевой водой отдельных радионуклидов для населения и другие.

При оценке воздействия хранилищ РАО на окружающую среду $УВ$ является очень важным показателем радиационного загрязнения подземных вод. Значения $УВ$ для разных радионуклидов до-

⁸ *Уровень вмешательства ($УВ$)* – уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.

вольно сильно различаются по величине, что определяется не только их радиационным воздействием, но и их токсичностью. Так для цезия-137 УВ=11 Бк/кг, а для плутония-239 УВ=0,55 Бк/кг.

3. *Контрольные уровни* – доза, активность, плотность потоков, среднегодовые значения допустимых уровней и др. Контрольные уровни должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого. Желательно, чтобы при совершенствовании системы радиационной безопасности на предприятии контрольные уровни имели тенденции к их снижению.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальных условиях работы по обращению с РАО необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения – *принцип нормирования*;

- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает возможного вреда, причиненного дополнительным облучением – *принцип обоснования*;

- поддержание на возможно низком осуществимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения – *принцип оптимизации*.

Администрация предприятий должна принимать меры для снижения уровня облучения персонала, поддерживая его на таком низком уровне, каком это возможно с учетом экономических и социальных факторов.

В соответствии с требованиями п.2.6. СПОРО-2002 «облучение населения при всех видах обращения с РАО не должно превышать 0,1 мЗв/год, а облучение *критической группы населения*⁹ за счет захоронения РАО не должно превышать 0,01 мЗв/год» (10 мкЗв/год). Также в соответствии с требованием п.3.12.19. ОСПОРБ-

⁹ *Критическая группа населения* – совокупность лиц, которые по условиям, возрасту или другим факторам подвергаются наибольшему радиационному воздействию среди данного контингента людей.

99/2010 «эффективная доза облучения населения, обусловленная РАО, включая этапы хранения и захоронения, не должна превышать 10 мкЗв/год».

Примечание. Нормативы радиационной безопасности основываются в настоящее время на концепции беспорогового воздействия ионизирующего излучения на человека. При этом считается, что «вредное» воздействие начинается с уровня радиации выше «нуля» и чем больше доза, тем пагубнее воздействие ионизирующего излучения. На основе этой концепции разработаны рекомендации МКРЗ [37], в соответствии с которыми эффективная доза облучения населения, обусловленная РАО, включая этапы хранения и захоронения, не должна превышать 10 мкЗв/год. Эта концепция сохранена и в публикации 103 МКРЗ [45], в соответствии с которой разработаны НРБ-99/2009.

Сбросы и выбросы. Правовые положения, касающиеся ограничений на величину жидких сбросов и газообразных выбросов, не относящихся к РАО, но содержащих радиоактивные вещества, регламентируются ФЗ «Об охране окружающей среды» [38]. Закон, в частности, устанавливает, что выбросы и сбросы радиоактивных веществ в окружающую среду в пределах, установленных нормативами допустимых выбросов и сбросов и лимитов на выбросы и сбросы, допускаются на основании разрешений, выданных органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды. Эти разрешения выдаются, исходя из допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технологических нормативов.

Санитарные правила ОСПОРБ-99/2010 (п.3.12.11) запрещают сброс ЖРО с содержанием радионуклидов выше значений, приведенных в приложении 3 ОСПОРБ (таблица удельной активности радионуклидов неограниченного использования), и ЖРО в поверхностные и подземные водные стоки, на водосборные площадки, в недра и на почву. Подобный запрет сброса ЖРО в водные объекты имеется также в ФЗ [38].

Сброс техногенных радионуклидов в окружающую среду может осуществляться в соответствии с *нормативами допустимых выбросов и разрешительными документами*, получаемыми в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды и водным законодательством.

Ядерная безопасность. Приведем основные термины и их определения, а также основные понятия в области ядерной безопасности в соответствии с НП-063-05 [39].

Обеспечение ядерной безопасности – создание и поддержание условий, направленных на предотвращение возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления и ограничение ее последствий.

Самоподдерживающаяся цепная реакция деления (СЦР) – процесс деления ядер нуклидов, при котором число нейтронов, образующихся в процессе деления ядер за какой-либо интервал времени, равно или больше числа нейтронов, убывающих из системы утечки и поглощения за этот же интервал времени.

Обращение с РАО, при котором могут создаться условия для возникновения СЦР, может иметь место на ядерной энергетической установке, там, где происходит обращение с ядерными материалами и образуются РАО, на установках по переработке РАО, а также в хранилище РАО (временном или постоянном), в котором размещаются РАО, содержащие ядерные материалы. По аналогии с понятием *ядерной безопасности комплекса систем хранения и обращения с ядерным топливом*, можно определить *ядерную безопасность хранения и обращения с РАО* как свойство хранилища РАО и системы обращения с РАО, исключающее возможность возникновения ядерной аварии с помощью технических средств и организационных мероприятий. В свою очередь, *ядерную аварию при обращении с РАО* можно определить как аварию, вызванную образованием критической массы при перегрузке, транспортировании или хранении ядерных материалов в составе РАО.

Здесь целесообразно также привести определение понятия «система», используемое в документах по ядерной безопасности. *Система* – это содержащая ядерный делящийся материал (вещество, нуклид), совокупность элементов, геометрия, материальный состав которых рассматривается при обосновании ядерной безопасности. Таким образом, системой может быть любая упаковка РАО или группа упаковок с РАО, размещенных в хранилище, поверхностный водоем-хранилище РАО, емкость для хранения ВАО и т.д.

Возможность возникновения СЦР для любой среды конечных размеров характеризуется *эффективным коэффициентом размножения нейтронов $K_{эф}$* , который определяется как отношение

полного числа нейтронов, образующихся в системе в рассматриваемом интервале времени за счет деления ядер, к числу нейтронов, выбывающих из этой системы в результате поглощения и утечки за этот же интервал времени. Для бесконечной среды $K_{эф}$ называется коэффициентом размножения бесконечной среды K_{∞} .

Только при $K_{эф} > 1$ (повышенное воспроизводство нейтронов) возможно возникновение СЦР. Однако при этом должны иметь место определенные условия распространения нейтронов, образовавшихся в среде. Для ядерных материалов, делящихся под действием тепловых нейтронов (уран-233, уран-235, плутоний-239 и др.), необходимо, чтобы энергия образовавшихся быстрых нейтронов (средняя энергия деления для U-235 около 2 МэВ) уменьшилась до уровня энергии тепловых нейтронов (0,025 эВ). Наиболее эффективными замедлителями нейтронов являются легкие элементы: водород, дейтерий, вода, бериллий, графит, полиэтилен, парафин, оргстекло. Кроме того, в системе с $K_{эф} > 1$ должны быть созданы условия, способствующие удержанию нейтронов в объеме размножения, система должна быть окружена веществом, способствующем возвращению их в систему и препятствующим выходу их из системы – *отражателем нейтронов*. Такими свойствами для систем на тепловых нейтронах обладают бериллий, окись бериллия, вода, тяжелая вода, графит [20].

Система может характеризоваться рядом параметров ядерной безопасности, в том числе объемом, диаметром, толщиной слоя, массой и др., физическими величинами (параметрами), для значения которых устанавливаются ограничения с целью обеспечения ядерной безопасности. К ряду критических параметров относят: критическую массу $M_{кр}$, критическую концентрацию $C_{кр}$, критический объем $V_{кр}$, критический диаметр $D_{кр}$, критическую толщину слоя $T_{кр}$. Это такие значения параметра системы, содержащей ядерный делящийся материал (вещество, нуклид), при котором $K_{эф}$ равен единице.

Например, система из чистого урана-235 имеет критическую массу $M_{кр}=47$ кг, а система из урана-235 с частыми и тонкими полиэтиленовыми прокладками и отражающей оболочкой $M_{кр}\approx 242$ г. В табл. 2-1 приведены минимальные критические массы для некоторых нуклидов с нечетным количеством нейтронов в ядре. Систе-

ма представляет собой сферу с водяным замедлителем и водяным отражателем [40].

Для обеспечения ядерной безопасности достаточно установить один из безопасных параметров: массу или концентрацию ядерного делящегося материала, помещаемого в единицу хранения, геометрическую конфигурацию оборудования или единиц хранения. Безопасный параметр должен обеспечить $K_{эф}$ системы не более 0,95.

Таблица 2.1

Критические массы для ряда радионуклидов

Нуклид	Уран-233	Уран-235	Плутоний-239	Плутоний-241	Америций-242	Кюрий-243	Кюрий-247	Калифорний-251
$M_{кр}$, кг	0,57	0,79	0,51	0,232	0,017	0,108	1,17	0,013

Для подтверждения ядерной безопасности системы должно быть разработано *Заключение по ядерной безопасности* – технический документ, устанавливающий условия и параметры ядерной безопасности для конкретного оборудования и (или) технологического процесса, условий транспортирования, пунктов хранения в целях обеспечения ядерной безопасности в случаях, если эти условия и параметры для данного оборудования и (или) технологического процесса не определены нормативными документами. Разработка таких заключений возлагается на отдел ядерной безопасности ГНЦ РФ ФЭИ.

Ядерная безопасность при обращении с РАО. В процессе обращения с РАО, содержащими малое удельное количество ядерного делящегося материала, не создаются условия для возникновения СЦР. Однако можно привести ряд примеров, когда обращение с РАО требует анализа возможности возникновения ядерной аварии в системе и необходимости обоснования ядерной безопасности и (или) получения *Заключения по ядерной безопасности*. Как прави-

ло, эти условия возникают при переработке ЖРО и ТРО, накоплении и/или концентрации осадков ЖРО, а именно при:

- хранении жидких ВАО, при котором могут образовываться осадки с ядерно-опасной концентрацией;

- технологическом процессе остекловывания жидких ВАО, при котором происходит концентрирование ядерных материалов;

- хранении отвержденных ВАО в упаковках (контейнерах, бидонах);

- захоронении ЖРО в глубокие геологические формации, при котором радионуклиды могут концентрироваться в пределах небольшого объема поровой среды поглощения и удержания радионуклидов;

- хранении ЖРО в поверхностных водоемах-хранилищах, при котором более 95% радионуклидов за счет сорбционных процессов скапливаются в небольшом слое илистых отложений водоема;

- отверждении ЖРО, при котором происходит повышение концентрации радионуклидов, в том числе и ядерных делящихся веществ;

- сжигании и/или прессовании ТРО, при котором происходит повышение концентрации радионуклидов

Для ЖРО основную опасность представляет увеличение концентрации РАО в осадках. При этом степень опасности возникновения СЦР в осадках ЖРО, в твердой его части, может быть оценена с помощью коэффициента концентрации (КК), который определяется как отношение концентрации ядерных материалов в осадке к концентрации его в растворе. Анализ ядерной безопасности, проведенный в ГНЦ РФ ФЭИ [41] на основе консервативных предположений, показал, что безопасным можно считать $КК=1000$.

Следует отметить, что на ПЯТЦ и других объектах ИАЭ до последнего времени не зафиксировано ни одного случая возникновения СЦР, связанного с технологическими процессами переработки и хранения РАО.

2.3. Принципы обращения с РАО

В 1995 г. МАГАТЭ опубликовало документ [29], в котором представлен свод принципов по обращению с РАО, соблюдение которых должно позволить обеспечить надежную защиту человека

и окружающей среды при обращении с РАО для настоящего и будущих поколений. Установлены девять основных принципов, которые следует рассматривать как единое целое. Ниже приводятся эти принципы с краткими комментариями.

Принцип 1. Защита здоровья человека

«Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы обеспечить приемлемый уровень защиты здоровья человека».

РАО в отличие от других токсичных отходов несут дополнительную опасность, а именно возможность облучения ионизирующим излучением. Поэтому при работе с РАО необходимо обеспечить приемлемый уровень защиты, учитывая различные пути распространения радионуклидов и их воздействия на человека. При установлении приемлемых уровней защиты в рамках национальных требований обычно учитываются рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ и, в том числе, принципы обоснования, оптимизации и ограничения доз (разд. 2.2.).

Принцип 2. Защита окружающей среды

«Обращение с РАО осуществляется таким образом, чтобы обеспечить приемлемый уровень охраны окружающей среды».

Безопасное обращение с РАО должно сопровождаться ограничением выбросов и сбросов в ходе различных операций с РАО на минимальном практически достижимом уровне. Предпочтительным подходом к обращению с РАО является концентрация и удержание радионуклидов, например, с помощью сорбционных процессов, а не разбавление и рассеяние РАО в окружающей среде.

При выбросе радионуклидов в окружающую среду облучению могут подвергнуться не только люди, но и другие биологические виды. Необходимо учитывать последствия такого облучения. Поскольку захоронение РАО может негативно сказываться на использовании природных ресурсов (лес, подземные и поверхностные воды, сырьевые ресурсы) в течение длительного времени, необходимо ограничивать эти последствия настолько долго, насколько это возможно.

Принцип 3. Защита за пределами национальных границ

«Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы учитывались возможные последствия для

здоровья человека и окружающей среды за пределами национальных границ».

Этот принцип обусловлен этическими соображениями охраны здоровья человека и окружающей среды в других странах. Он основан на предпосылке, состоящей в том, что страна должна действовать с ответственностью и, как минимум, не создавать более пагубных последствий в других странах для здоровья человека и окружающей среды, чем те, которые считаются приемлемыми в пределах ее собственных границ. Выполняя эту задачу, страна должна учитывать рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ, особенно концепцию оптимизации радиологической защиты¹⁰.

Принцип 4. Защита будущих поколений

«Обращение с РАО осуществляется таким образом, чтобы предсказуемые последствия для здоровья будущих поколений не превышали соответствующие уровни последствий, которые приемлемы в наши дни».

Хотя и невозможно обеспечить полную изоляцию РАО на протяжении длительного времени, необходимо, чтобы была достаточная уверенность в том, что не будет неприемлемых последствий для здоровья человека. Это обычно достигается посредством использования как естественных, так и искусственных барьеров (принцип многобарьерности), которые препятствуют распространению радионуклидов за пределы захоронения. Наличие приемлемых естественных барьеров обычно определяется в процессе выбора площадки для хранения/захоронения РАО.

Принцип 5. Бремя для будущих поколений

«Обращение с радиоактивными отходами осуществляется таким образом, чтобы не налагать чрезмерного бремени на будущие поколения».

В области обращения с РАО первостепенное значение имеет забота о будущих поколениях. Этот принцип основан на этическом соображении, состоящем в том, что поколение, которое получает пользу от какой-либо практической деятельности, должно нести ответственность за обращение с образующимися в результате этой деятельности отходами. Однако некоторые виды действий могут

¹⁰ В документах МАГАТЭ вместо применяемого в отечественной литературе термина «радиационная защита» используется термин «радиологическая защита».

передаваться следующим поколениям, например, ведение ведомственного контроля за захоронением РАО.

Принцип 6. Национальная правовая структура

«Обращение с радиоактивными отходами осуществляется в рамках соответствующей национальной правовой структуры, предусматривающей четкое распределение обязанностей и обеспечение независимых регулирующих функций».

В целях обеспечения безопасности эксплуатации объектов ИАЭ необходимо разделение функции регулирования, включая применение санкций, и функции эксплуатации. Это позволит вести независимый анализ операций по обращению с РАО и надзор за ними. В настоящее время в России органом регулирования является Ростехнадзор.

Принцип 7. Контроль за образованием РАО

«Образование радиоактивных отходов удерживается на минимальном практически осуществимом уровне».

Образование РАО удерживается на минимальном практически осуществимом уровне как по радиоактивности, так и по объему посредством соответствующих проектных решений и практики эксплуатации и снятия с эксплуатации. Это включает выбор и контроль, рециклирование и повторное использование материалов, а также осуществление соответствующих технологических регламентов.

Принцип 8. Взаимозависимости образования РАО и обращения с ними.

«Надлежащим образом учитываются взаимозависимости между всеми стадиями образования радиоактивных отходов и обращения с ними».

Существует взаимосвязь между стадиями обращения с РАО. Поскольку они могут быть значительно разделены во времени, то учет влияния одной стадии на другую необходимо предусматривать заранее. Кроме того, решения, принятые на одном из этапов технологического процесса, создающими РАО, могут значительно повлиять на образование РАО на другом этапе. Здесь также необходим учет этого влияния при разработке технологии обращения с РАО.

Принцип 9. Безопасность установок

«Безопасность установок для обращения с РАО надлежащим образом обеспечивается на протяжении всего срока их службы».

При выборе площадки, проектировании, сооружении, эксплуатации и снятии с эксплуатации установок или закрытии хранилища следует уделять первоочередное внимание вопросам безопасности, включая предотвращение аварий и ограничение последствий в случае возникновения аварии. На всех этих этапах обычно учитываются интересы населения.

2.4. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с РАО

Объединенная конвенция [4] была принята МАГАТЭ 29 сентября 1997 г. и ратифицирована Россией в 2005 г., после чего ее положения стали обязательными для исполнения всеми органами исполнительной власти и организациями, связанными с обращением с ОЯТ и РАО.

Цель Объединенной конвенции состоит в том, чтобы достичь и поддержать высокий уровень безопасности обращения с ОЯТ и РАО во всем мире. Договаривающиеся стороны¹¹ намерены достичь этой цели путем международного сотрудничества в решении сложных вопросов проведения независимых авторитетных экспертиз деятельности друг друга, оказания, при необходимости, помощи государствам с менее развитыми программами и потенциальными возможностями, а также использования принятых на международном уровне норм безопасности.

Принятие Объединенной конвенции можно рассматривать как первый, но очень важный шаг на пути установления универсального международного правового порядка безопасного обращения с РАО во всем мире.

С юридической точки зрения принципы Объединенной конвенции могут быть разделены на две группы: *основополагающие принципы*, имеющие международно-правовой характер и формулирую-

¹¹ Страна, ратифицирующая Объединенную конвенцию, становится Договаривающейся стороной.

щие конкретные обязательства для Договаривающихся сторон, и *руководящие принципы*, имеющие рекомендательный характер [42].

Основополагающие принципы Объединенной конвенции заключаются в следующем:

- Договаривающаяся сторона несет ответственность за обеспечение безопасности при обращении РАО;

- Договаривающаяся сторона при выборе площадки в отношении предполагаемой установки по обращению с РАО принимает соответствующие меры для обеспечения того, чтобы такая установка не оказывала неприемлемого воздействия на другие Договаривающиеся стороны в соответствии с общими требованиями безопасности;

- любое государство обладает правом запрета импорта на свою территорию иностранных РАО;

- захоронение РАО, насколько это совместимо с безопасным обращением с РАО, должно осуществляться в государстве, в котором они образовались, за исключением случаев, когда безопасному и эффективному обращению с РАО могут способствовать соглашения между Договаривающимися сторонами;

- Договаривающаяся сторона несет обязательства по созданию необходимых условий, обеспечивающих выполнение положений Объединенной конвенции, в том числе: созданию и поддержанию законодательной и регулирующей системы обеспечения безопасности обращения с РАО, обеспечению финансовыми и людскими ресурсами в течение всего жизненного цикла объекта ИАЭ и др.

Руководящие принципы выполняют роль ориентирующих критериев при определении высокого уровня безопасности. Хотя в Объединенной конвенции не применяется термин «руководящие принципы», и тем не менее, можно полагать, что в преамбуле к Объединенной конвенции в основном речь идет именно о данной категории принципов. В ней говорится, что Договаривающиеся стороны будут при осуществлении своей деятельности по обеспечению безопасности обращения с РАО принимать во внимание принципы, содержащиеся в [29] и представленные в разделе 2.3 книги.

Основное содержание руководящих принципов включает в себя обязательства Договаривающихся сторон принять законодательные, регулирующие и административные, а также другие меры,

необходимые для выполнения обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции.

Законодательная и регулирующая основа включает в себя (ст. 19) разработку норм и стандартов ядерной безопасности и радиационной защиты, учреждение и функционирование системы лицензирования деятельности, связанной с РАО, ведомственного и регулирующего контроля, разграничение компетенции органов, занимающихся различными стадиями обращения с РАО, введение принудительных мер для выполнения регулирующих положений и условий лицензирования.

Обязанность по формированию законодательной и регулирующей основы (ст. 20) возлагается на регулирующий орган, который наделяется надлежащими полномочиями, компетенцией, финансовыми и людскими ресурсами. Только при соблюдении указанных условий регулирующий орган в состоянии осуществить независимые регулирующие функции.

При определении ответственности обладателя лицензии (ст. 21) Объединенная конвенция закрепляет важный принцип, значение которого выходит за пределы применения безопасности обращения с РАО и который подлежит применению во всей сфере государственного управления ИАЭ. Согласно этому принципу *основная ответственность за безопасность проведения работ в атомной энергии возлагается на эксплуатирующую организацию*. Договаривающаяся сторона обязана принять все меры по обеспечению того, чтобы обладатель лицензии (эксплуатирующая организация) выполнял свои обязательства.

Необходимые меры должны быть приняты Договаривающейся стороной для разработки и осуществления программ качества в отношении безопасного обращения с РАО (ст. 23).

Договаривающейся стороной должны быть обеспечены очень жесткие стандарты и требования радиационной защиты персонала и населения в целях соответствия принципу ALARA¹² (ст. 24).

¹² ALARA (As Low As Reasonably Achievable) – один из принципов, рекомендованных МКРЗ с целью минимизации вредного воздействия ионизирующего излучения. Предусматривает проведение работ на возможно низком и практически достижимом уровне доз облучения, с учетом социальных и экономических факторов.

В обязанность Договаривающейся стороны вменяется также обеспечение подготовки плана аварийных мероприятий на площадке и, если необходимо, вне площадки до начала и в течение эксплуатации установки для обращения с РАО, а также мер для подготовки и проверки действий планов аварийных мероприятий (ст. 25).

В Объединенной конвенции проявляется специфика международно-правового регулирования обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Она состоит в том, чтобы зафиксировать цели и основополагающие принципы обеспечения безопасности в качестве обязательных, оставив на усмотрение Договаривающейся стороны при достижении высокого уровня безопасности право выбора средства достижения цели и реализации основополагающих принципов (на национальном уровне).

В целом требования и принципы Объединенной конвенции можно разделить также на *технические, политические и административные*.

Технические требования (статьи 11-17, 23-26, 28) определяют основные вопросы, которые должны быть решены для обеспечения безопасности на всех стадиях обращения с РАО, а также на всех этапах жизненного цикла установки по обращению с РАО, в том числе при выборе площадки, проектировании, эксплуатации и закрытии установки, а также оценку безопасности установок. Отдельные требования приведены для этапа эксплуатации установок, например, в отношении обеспечения радиационной защиты, подготовки кадров и наличия соответствующих аварийных процедур. Подтверждаются основные девять принципов обеспечения безопасности обращения с РАО. Существуют также требования в отношении снятия установок с эксплуатации.

Примечание. Здесь уместно отметить различие в понятиях (терминах): «закрытие установки» и «снятие установки с эксплуатации», вводимых Объединенной конвенцией:

– «закрытие означает завершение всех операций в определенный момент после помещения РАО в установку для захоронения. Оно включает окончательные инженерно-технические или другие работы, необходимые для приведения установки в состояние, которое будет оставаться безопасным в течение продолжительного времени»;

– «снятие с эксплуатации означает все меры, ведущие к освобождению ядерной установки, иной, чем установка для захоронения, из-под регулирующего контроля. Такие меры включают процессы дезактивации и демонтажа».

Закрытие является последним этапом жизненного цикла ПЗРО. Оно означает прекращение размещения РАО в ПЗРО, приведение его в безопасное состояние с последующим контролем над состоянием ПЗРО. Снятие с эксплуатации аналогично отечественному термину «вывод из эксплуатации», предусматривающему прекращение работы установки, ее дезактивацию и демонтаж. Возможно применение этого термина к демонтирующимся ПЗРО с перемещением его содержимого (РАО) в другой ПЗРО, и с реабилитацией территории захоронения.

Необходимо отметить отношение Объединенной конвенции к существующим на момент ее принятия установкам и к практической деятельности государств в прошлом, изложенным в ст.12 (прежде всего к РАО, накопленным в результате предыдущей деятельности):

"Каждая Договаривающаяся сторона принимает соответствующие меры для рассмотрения:

i) безопасности любой установки для обращения с радиоактивными отходами, существующей на момент вступления настоящей конвенции в силу для этой Договаривающейся стороны, и обеспечения того, чтобы в случае необходимости были выполнены все разумно осуществимые на практике усовершенствования в целях повышения безопасности такой установки;

ii) результатов практической деятельности в прошлом с целью определения необходимости какого-либо вмешательства по причинам радиационной защиты, учитывая, что уменьшение вредного воздействия в результате сокращения дозы должно быть достаточным для обоснования ущерба и издержек, в том числе социальных издержек, связанных с таким вмешательством".

Политические требования (статьи 18-22, 27) касаются как характера приемлемой регулирующей инфраструктуры и отношений между правительством, регулирующим органом и оператором, так и распределения обязанностей между ними. В эту категорию требований можно включить необходимость проведения консультаций с соседними странами на этапе выбора площадок для установок, а также требования, связанные с передачей РАО другим странам.

Административные требования включают все правила и процедуры, регламентирующие проведение официальных совещаний по рассмотрению, правила разрешения споров и др., а также подго-

товку *национальных докладов* – документах, которые следует готовить каждой стране, ратифицирующей Объединенную конвенцию, для рассмотрения другими странами на периодических совещаниях по рассмотрению. Определен перечень вопросов, которые должны быть освещены в национальном докладе Договаривающейся стороны (ст.32):

- политика и практика в области обращения с ОЯТ и РАО;
- критерии, используемые для определения и классификации РАО;
- перечень национальных установок для обращения с ОЯТ и РАО;
- инвентарные списки ОЯТ и РАО;
- перечень установок, находящихся в процессе снятия с эксплуатации.

В 2006 и в 2009 гг. Россия подготовила и представила в МАГАТЭ соответственно Первый и Второй национальные доклады Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Что такое «обращение с радиоактивными отходами»?
2. Назовите основные стадии обращения с РАО.
3. В чём заключается взаимозависимость различных стадий обращения с РАО?
4. Что такое «кондиционированные РАО»?
5. Основная цель обеспечения радиационной безопасности при обращении с РАО?
6. Какие три класса нормативов используются для характеристики облучения персонала и населения?
7. Сформулируйте основную цель обеспечения ядерной безопасности. Что такое СЦР?
8. При каких условиях обращения с РАО возможно возникновение СЦР?

9. Основные принципы безопасного обращения с РАО, сформулированные МАГАТЭ?

10. Дайте развернутую характеристику Объединенной конвенции МАГАТЭ.

11. Как Объединенная конвенция трактует отношение к уже существующим хранилищам РАО?

Глава 3. ЗАХОРОНЕНИЕ РАО

3.1. Выбор способа захоронения

Захоронение РАО – безопасное размещение РАО без намерения последующего их извлечения. Безопасность размещения РАО подразумевает отсутствие воздействия захороненных РАО на окружающую среду и человека. Если такое воздействие имеет место, оно должно быть ниже допустимых норм в соответствии с действующими нормативными документами по радиационной безопасности. Это может быть обеспечено надлежащим образом, если с момента образования РАО обращение с ними предусматривает определенный способ их захоронения. Конечная цель обращения с РАО это их надежная долговременная изоляция, как правило, в течение 300 – 10000 лет. С этой точки зрения классификация РАО, также должна быть направлена на определение наиболее подходящего способа их захоронения

В научной литературе рассматривалось несколько способов захоронения, в том числе ряд «экзотических» (отправка РАО в космос, к солнцу, захоронение под полярными ледяными шапками, в морских отложениях и др.). Однако наиболее реальными и экономичными были признаны захоронения на поверхности земной коры или на различных глубинах земной коры. В течение длительного времени (миллион лет) радиотоксичность отходов значительно ослабнет из-за естественного радиоактивного распада радионуклидов, входящих в состав РАО.

Классификация РАО (гл. 1) показывает, что различные виды РАО требуют различного подхода к способам их захоронения.

Согласно классификации МАГАТЭ ПЗРО подразделяются на две категории:

- *приповерхностные ПЗРО,*
- *ПЗРО глубокого заложения.*

Приповерхностное захоронение РАО – захоронение в сооружениях, размещаемые на поверхности земли и (или) на глубине от нескольких метров до ста метров. *Захоронение РАО в глубокие геологические формации* – захоронение РАО в сооружениях, размещаемые на глубине несколько сотен метров.

Короткоживущие и долгоживущие радионуклиды низкого и промежуточного, а по российской классификации низкого и среднего уровней, захораниваются в приповерхностные ПЗРО. В зависимости от степени радиотоксичности и периодов полураспада, конструкции и места размещения приповерхностных ПЗРО могут существенно различаться, представляя собой котлованы, траншеи, сборные и монолитные железобетонные сооружения и т.д.

Для долгоживущих отходов высокого уровня активности единственный способ надежного и сравнительно безопасного размещения – это захоронение в глубокие геологические формации. При этом полагается, что со временем основным физическим барьером на пути распространения радионуклидов будет являться вмещающая порода. Поэтому большое внимание при выборе места захоронения уделяется геологическому строению района размещения ПЗРО. Исследования показали, что наиболее подходящими породами, с учетом принципов МАГАТЭ, являются: *соль, глина, сланцы и кристаллическая скальная порода (гранит)*. В последнее время мировым сообществом отвергаются какие-либо захоронения с использованием морей и океанов (сброс в море упаковок с РАО, слив РАО, захоронение на большой глубине, захоронение под осадочными пластами). До сих пор во многих странах существует проблема выбора на своей территории подходящего места для ПЗРО глубокого заложения.

Необходимо отметить, что в России существует разновидность ПЗРО глубокого заложения – полигоны глубинного захоронения ЖРО (ПГЗ ЖРО). Эти полигоны успешно работают уже более 50 лет на ряде ПЯТЦ. *ПГЗ ЖРО* – это природно-техническая система, предназначенная для захоронения ЖРО, располагающаяся в пределах определенной проектом территории, включающая участок недр – поглощающий горизонт (пласт-коллектор), находящийся в пределах горного отвода и комплекс сооружений, систем и оборудования, предназначенных для обращения с ЖРО. Предварительно подготовленные ЖРО среднего и низкого уровней активности под давлением закачиваются через нагнетательные скважины в пласты-коллекторы, находящиеся на глубине нескольких сотен метров. Как правило, для захоронения используются два горизонта накопления РАО. В нижний горизонт закачиваются отходы с большей удельной активностью, а в верхний – с меньшей [9].

Следует отметить, что время надежного захоронения РАО в ПЗРО приповерхностного типа оценивается в 300 – 500 лет, а для ПЗРО глубокого заложения в 10 000 лет. Период в 300 лет вполне достаточный, чтобы радионуклиды цезий-137 и стронций-90, составляющие основу отходов РХП и имеющие период полураспада около 30 лет, практически распались до незначительных уровней. Период в 10 000 лет является межледниковым периодом на Земле. Оценить степень какого-либо контроля со стороны человека после этого периода не представляется возможным.

3.2. Принципы и критерии захоронения

Придавая большое значение проблеме обеспечения безопасности захоронения РАО высокого уровня, МАГАТЭ в 1990 г. опубликовало в серии документов по безопасности *«Принципы безопасности и технические критерии для подземного захоронения радиоактивных отходов высокого уровня активности»* № 99[43]. Он отражает потребности государств-членов МАГАТЭ иметь согласованные на международном уровне критерии для безопасного захоронения ВАО в глубокие геологические формации. Документ определил философию безопасности в планировании таких захоронений, главной целью которой является изоляция РАО от окружающей среды на значительные периоды времени. Первоочередными задачами подземного захоронения ВАО являются следующие:

- изолировать ВАО от окружающей среды на длительное время, не перекладывая на будущие поколения ответственности за сохранение целостности систем захоронения и не создавая для них значительных ограничений из-за наличия ПЗРО;

- обеспечить долговременную радиационную безопасность человека и окружающей среды в соответствии с действующими принципами радиационной безопасности, согласованными на международном уровне.

В этом разделе будет уделено основное внимание *техническим критериям*, поскольку принципы безопасности **любого** захоронения, в основном, согласуются с принципами обращения с РАО, изложенными в [29], публикациях 60, 81 и 103 МКРЗ [37],[44],[45] и НРБ-99/2009 [17] . Эти критерии устанавливают техническую ос-

нову для обеспечения соблюдения принципов безопасности, которые актуальны и в настоящее время.

В документе принята следующая классификация технических критериев: критерий № 1 определяет общий системный подход к проектированию ПЗРО; критерии № 2 и 3 формулируют подходы к характеристикам захораниваемых отходов; критерии № 4, 5, 6 – к ПЗРО; критерии № 7 и 8 – к выбору площадки для ПЗРО; критерии № 9 и 10 – к документам, обеспечивающим и подтверждающим безопасность захоронения.

Критерий №1. Общий системный подход

«Необходимо, чтобы долгосрочная безопасность при захоронении РАО высокого уровня активности основывалась на идее многобарьерной защиты, и необходимо оценивать ее на основе показателей работы системы захоронения в целом».

Вся система захоронения состоит из различных компонентов, (отходы, контейнеры, материал для засыпки, хранилище, порода, в которой размещаются отходы, окружающие хранилище геологические формации). Поскольку ВАО представляют собой потенциальную опасность на протяжении длительного времени и прогнозные оценки долгосрочного хранения могут содержать значительные неопределенности, необходимо, чтобы безопасность при захоронении отходов основывалась не на одном единственном компоненте или барьере, а на совместном действии нескольких барьеров. Если функционирование какого-либо одного барьера не соответствует требованиям проекта, то вся система, тем не менее должна обеспечивать безопасность захоронения.

Признано, что геологический барьер играет наиболее важную роль в обеспечении долговременной безопасности. Это становится понятным, если сравнивать возможности различных конструкционных материалов по способности их к сохранению физических характеристик в течение 10000 лет.

В настоящее время критерий многобарьерности должен рассматриваться в соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты (ГЭШЗ), основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также системы технических и организационных мер по защите физических барье-

ров и сохранению их эффективности и защите работников (персонала), населения и окружающей среды (гл. 7).

Критерий №2. Содержание радионуклидов

«Необходимо установить критерии приемлемости отходов по содержанию радионуклидов, соответствующие исходным данным, на которых основывалось проектирование захоронения».

Содержание радионуклидов является «параметром источника излучения» в случае возможных выбросов радионуклидов. Поэтому необходимо устанавливать критерии приемлемости по содержанию радионуклидов таким образом, чтобы они соответствовали предполагаемым значениям параметров источника излучения, на основании которых проектируется ПЗРО.

Критерий №3. Форма отходов

«Необходимо, чтобы ВАО, которые должны быть размещены в ПЗРО, находились в твердой форме, имели химические и физические свойства, позволяющие удерживать радионуклиды, и соответствовали системе захоронения».

Сразу после размещения отходов доступ к РАО воды будет задерживаться внешним контейнером и другими барьерами. В дальнейшем форма отходов и окружающая среда будут определять выбросы радионуклидов в геологическую формацию. Поэтому важно, чтобы отходы находились в той форме, которая соответствует данному хранилищу и породе, в которой размещены ВАО. Это в совокупности позволило бы задержать высвобождение (выщелачивание) радионуклидов.

Критерий №4. Первоначальный период изоляции

«Необходимо, чтобы система захоронения ВАО проектировалась таким образом, чтобы она была рассчитана на практически полную изоляцию радионуклидов на первоначальный период времени».

Полная изоляция ВАО не может поддерживаться в течение неограниченного времени. Вначале, когда имеет место наибольшая активность ВАО, необходима высокая степень их изоляции. Этот период зависит от типа ВАО, характеристик их распада, а также от свойств всей системы захоронения. По истечении первоначального периода всё большее значение начинают играть барьеры, присущие окружающей геологической формации.

Критерий №5. Проектирование и сооружение ПЗРО

«Необходимо, чтобы пункт захоронения ВАО проектировался, сооружался, эксплуатировался и закрывался таким образом, чтобы функции безопасности принимающей породы и соответствующих окружающих пород сохранялись в период после опечатывания (закрытия)».

На ранней стадии подтверждения пригодности площадки для ПЗРО, а также позднее в ходе сооружения и закрытия ПЗРО особое внимание следует уделять методам ведения полевых и строительных работ, чтобы изолирующая способность площадки (места захоронения) снижалась в минимальной степени и не была бы ухудшена в процессе проведения этих работ. Необходимо оценить последствия отклонений и нарушений, имевших место в ходе проведения работ, на уровень безопасности ПЗРО.

Нельзя допускать, чтобы воздействия отходов и любых механических конструкций, размещенных в ПЗРО, на гидрогеологическую среду площадки ухудшали те свойства породы, которые имеют отношение к безопасности.

Критерий №6. Ядерная безопасность

«Необходимо проектировать хранилище ВАО и размещать в них отходы таким образом, чтобы любой делящийся ядерный материал оставался в подкритичном состоянии (не достигал критичности)».

Некоторые ВАО могут содержать делящиеся ядерные материалы в количестве достаточном для начала цепной реакции размножения, если они неправильно размещены. Поэтому важно обратить особое внимание на вопросы критичности при проектировании ПЗРО.

Безопасная геометрия может быть обеспечена разбавлением делящихся материалов (снижением концентрации) при кондиционировании РАО и/или обеспечением необходимого расстояния между упаковками. В тех случаях, когда может происходить выщелачивание и последующее накопление делящихся материалов, необходимо рассмотреть вопрос о предотвращении достижения критичности еще на стадии проектирования ПЗРО.

Критерий №7. Геология площадки

«Необходимо, чтобы хранилище было расположено на глубине, достаточной для надлежащей защиты размещенных отходов от

внешних событий и процессов, в породе размещения отходов со свойствами, которые надлежащим образом ограничивают разрушение физических барьеров и перенос радионуклидов из хранилища в окружающую среду».

Место расположения ПЗРО имеет большое значение для его длительного безопасного функционирования. Необходимо, чтобы размеры выбранной среды размещения были достаточно большими, чтобы вместить хранилище и обеспечить безопасность.

Наиболее вероятным путем миграции радионуклидов из хранилища в биосферу является перенос подземными водами. В связи с этим, особое внимание должно быть уделено гидрогеологическим и геохимическим свойствам среды размещения, а также оценена возможность тектонических, сейсмических и других аномалий, которые могут создавать новые пути для переноса радионуклидов.

Критерий №8. Учет природных ресурсов

«Выбор площадки для хранилища необходимо осуществлять таким образом, чтобы, насколько это практически возможно, избежать соседства с ценными природными ресурсами или материалами, которые труднодоступны для добычи из других источников».

Существует два аргумента против размещения хранилища вблизи ценных или потенциально ценных природных ресурсов. Во-первых, будущие поколения будут разрабатывать природные ресурсы для удовлетворения собственных потребностей. Размещение хранилища вблизи таких ресурсов могло бы сделать невозможным использование этих ресурсов в будущем или могло бы потребовать выполнения обременительных мероприятий по снижению опасности, которые должны быть предприняты во избежание разрушения хранилища. Во-вторых, в будущем, когда будет снят ведомственный контроль, данные о размещении хранилища могут быть недоступны лицам, намеревающимся разрабатывать природные ресурсы. В этом случае неумышленное вторжение в хранилище могло бы нарушить его целостность и привести к выбросу радионуклидов в окружающую среду.

Критерий №9. Оценка безопасности

«Необходимо, чтобы соответствие всей системы захоронения целям радиационной безопасности было продемонстрировано по-

средством оценок безопасности, которые основываются на моделях, признанных пригодными в максимально возможной степени».

Признано, что долговременная безопасность системы захоронения ВАО не может быть определена непосредственными расчетами. Однако она может быть оценена косвенно, путем прогнозного анализа, основанного на технических и научных данных. Для проведения оценки безопасности могут использоваться методы детерминистического и вероятностного анализа. Эти методики не исключают друг друга. На практике, проводится анализ с использованием обоих методов (гл. 4).

Следует, насколько возможно, проводить анализ пригодности используемых моделей по данным лабораторных испытаний и полевых наблюдений, используя природные аналоги и исследования площадки.

Критерий №10. Обеспечение качества

«В целях обеспечения соответствия необходимым стандартам и критериям необходимо разработать программу обеспечения качества для компонентов системы захоронения и для всех видов деятельности от подтверждения пригодности площадки для сооружения, эксплуатации и последующего закрытия установки для захоронения».

Эта программа (или руководство по обеспечению качества) должна обеспечить проработку и соблюдение требований нормативных документов, правил, стандартов, технических требований и установленных регламентов в области инженерных и горных работ. Программа должна также определять организационную структуру для осуществления деятельности по обеспечению качества и четко разделять ответственность и обязанности персонала и организаций, участвующих в выборе требуемого уровня обеспечения качества и осуществляющих выполнение программ обеспечения качества.

Технические критерии, приведенные для ПЗРО глубокого заложения, могут также быть применены и к ПЗРО приповерхностного типа, за исключением критериев № 6, 7 и 8, отражающих специфику захоронения ВАО в глубокие геологические формации.

Рассмотрим некоторые особенности реализации указанных технических критериев для приповерхностных ПЗРО.

Конструкционные критерии. Почвенное покрытие влияет на попадание дождевой воды в хранилище. Если отходы чувствитель-

ны к окислительно-восстановительному потенциалу, то почвенное покрытие должно предотвращать проникновение в хранилище кислорода.

Качество и размер бетонных стенок хранилища влияет на водный поток через хранилище, скорость выхода (просачивания) радионуклидов и т.д. Поэтому необходимо тщательно подходить к выбору марки бетона и конструкции могильника (монолит, сборные бетонные детали и др.).

Качество бетона, используемого для заполнения пространства между упаковками отходов в хранилище, определяет уровень утечки газов из хранилища и скорости выноса радионуклидов из хранилища без наличия повреждений барьеров.

Следует отметить, что защитные (конструкционные) материалы приповерхностного ПЗРО играют основную роль в обеспечении безопасности в течение всего периода эксплуатации и после окончания эксплуатации. Это обусловлено тем, что радионуклиды из хранилища сразу попадают в биосферу, загрязняя почву и водную систему.

Критерии приемлемости РАО для захоронения представляют собой целый спектр технических (физических, химических, радиационных и др.) характеристик РАО, определяющих пригодность их для захоронения выбранным способом. Они подробно рассмотрены в гл. 8.

Допустимые критерии содержания радионуклидов в РАО можно получить из нормативных документов. С этой целью рассчитывается максимальная концентрация радионуклидов или их общее содержание, приводящее к дозе равной, выбранному дозовому пределу.

В рамках своей деятельности группа экспертов OECD/NEA рассмотрела допустимые уровни предельных концентраций, осредненных по всему хранилищу, и пределов суммарной активности в хранилище. Общие эталонные уровни, разработанные группой экспертов для альфа-излучающих радионуклидов, лежат в диапазоне 10 – 100 Бк/г для РАО на небольшой глубине и 1000 – 10000 Бк/г для РАО, захороненных на глубине более 20 м. Группа также оценила, можно ли определить глобальные эталонные уровни радиоактивности, в частности, по альфа- и суммарной бета- гамма-активности.

Обычно общие рекомендации даются по одному «наиболее значащему радионуклиду», а также предполагая, что человек испытывает воздействие радиации только от хранилища. Однако в оценках конкретного хранилища необходимо учитывать все источники.

Эксплуатационные критерии. Этап эксплуатации длится несколько десятилетий. Во время этой фазы хранилище приравнивается к промышленному предприятию по обращению с РАО. В этот период должна осуществляться обычная радиационная защита и применяться все средства для обеспечения безопасности, используемые в атомной промышленности.

Послеэксплуатационные критерии. Период после закрытия хранилища длится намного дольше, чем другие этапы обращения с РАО. В это время в ПЗРО имеется максимальное количество РАО, которое необходимо удерживать в хранилище на все время их потенциальной опасности.

После закрытия ПЗРО облучение в основном происходит за счет непосредственного потребления загрязненных подземных или поверхностных вод, а также потребления продуктов питания. Кроме того, внешнее облучение может иметь место при купании, при контакте с загрязненными поверхностями и т.д.

Биотрубация (корневое распространение) и интрузия (роющие животные) могут также привести к усилению фильтрации по трещинам и каналам, образовавшимся в барьерах хранилища. Риск биотрубации снижают путем использования химически структурно-устойчивых форм отходов, введением специальных барьерных систем и выбором правильной глубины размещения хранилища.

В процессе разложения в РАО образуется газ. Наиболее известными процессами является коррозия, биологическое разложение органических веществ и радиолиз. Образующиеся газы могут быть радиоактивными и содержать такие радионуклиды как углерод-14, водород-3 и др., а также служить носителями газообразных форм радиоактивных веществ. Более того, образование газа может усилить вынос радионуклидов с водой путем замещения поровой воды или разрушения барьеров. На образование газа влияют химический состав отходов, выбор строительных материалов и другие факторы.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Что такое «захоронение РАО» и чем оно отличается от хранения РАО?
2. На какие категории разделяются ПЗРО?
3. Объясните, чем определяются периоды изоляции от 300 до 10000 лет?
4. Что такое приповерхностное захоронение РАО?
5. Что такое захоронение РАО в глубокие геологические формации?
6. Назовите 10 технических критериев, которым должно удовлетворять подземное захоронение РАО высокого уровня активности.
7. Какие критерии являются специфичными для подземного захоронения РАО?
8. Назовите критерии, которым должно удовлетворять приповерхностное захоронение РАО.

Глава 4. ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ РАО

Введение

С начала развития атомной энергетики (50-е годы XX в.) было установлено, что надежность технических систем в атомной промышленности имеет первостепенное значение с точки зрения обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Были разработаны методологии оценки надежности ядерных реакторов и в целом АЭС. Несколько позже (в 70-х годах) стало понятно, что при обращении с РАО также необходимо обеспечивать должный уровень безопасности с образуемыми и образовавшимися от предыдущей деятельности РАО (накопленными РАО).

Были сделаны попытки адаптации методологии, разработанной для оценки безопасности АЭС (реакторов), к обращению с РАО. Однако они не всегда оказывались успешными. События, происходящие в период хранения, не могли быть довольно точно охарактеризованы как дискретные отказы компонентов системы захоронения, но могли быть описаны как непрерывное развитие каких-либо химических и физических процессов, подвергающихся воздействиям различного рода событий, явлений и факторов. Захоронение РАО – это длительный процесс¹³, который не позволяет достаточно адекватно оценить правильность принятых проектных решений и предсказать развитие событий в районе захоронения в период его потенциальной опасности, иметь достаточно предсказуемую цепочку событий: «принятое решение» - «отказ» - «последствия отказа». Не были разработаны единые критерии, которые характеризовали бы безопасность захоронений РАО и позволяли сравнивать безопасность различных хранилищ РАО на длительный период.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования по разработке методов анализа безопасности хранилищ РАО всех типов. Вопросы безопасности хранилищ РАО широко обсуждаются в печати и на международных конференциях. Это обусловлено тем,

¹³ Оценка безопасности хранилищ РАО в отличие от других объектов ИАЭ должна распространяться и на период после закрытия хранилища, поскольку захоронение не предполагает извлечения РАО из хранилища.

что дальнейшее развитие атомной энергетики во многом будет определяться успехами в обработке и захоронении РАО.

Оценка безопасности хранилища РАО может быть определена как анализ будущего поведения всей системы захоронения отходов и ее потенциальных воздействий на человека и окружающую среду, который сопровождается сравнением полученных результатов с соответствующими нормами безопасности (критериями).

4.1. Основные этапы оценки безопасности хранилищ

Концепции оценки безопасности. В 1991 г. Комитет по утилизации радиоактивных отходов OECD/NEA и Международный консультативный комитет по утилизации РАО при МАГАТЭ поставили вопрос о возможности долгосрочной оценки безопасности приповерхностных хранилищ НАО и САО. Оба комитета подтвердили, что существуют методы, позволяющие адекватно оценить потенциальную опасность радиационного воздействия хранилища РАО на персонал, население и окружающую среду в течение длительного времени при наличии достаточно полной информации о предполагаемом месте захоронения и соответствующем использовании методов оценки безопасности.

При проектировании хранилищ РАО необходимо учитывать два концептуальных положения [52]:

1. Настоящее поколение несет ответственность за то, что будущие поколения будут защищены от радиационного риска, по крайней мере, на уровне, который является допустимым сегодня.
2. Долгосрочная безопасность выбранной системы захоронения должна быть убедительно обоснована до начала захоронения.

Очевидно, что второе из этих положений является основным при оценке работоспособности и безопасности системы захоронения. Основная трудность состоит в том, что при захоронении РАО существуют риски на длительную перспективу, на все то время, когда отходы остаются опасными. Было сделано немало попыток проанализировать безопасность систем захоронения для очень длительного времени. Достоверность выводов этих работ вызывает полемику и скептицизм. Поэтому до сих пор остаются не решенными три важных вопроса.

1. Может ли быть достаточно хорошо понятным поведение хранилища РАО и его потенциальное радиологическое воздействие на людей и окружающую среду в течение многих тысяч лет?

2. Может ли общество быть убеждено, что реальное поведение системы будет соответствовать предсказанному поведению?

3. Могут ли быть убедительными для широкой общественности пути реализации потенциального радиационного воздействия хранилищ РАО ?

Необходимость получения ответов на эти вопросы стимулировала возникновение и развитие научного направления, занимающегося оценкой безопасности хранилищ РАО. Во многих странах на национальном и международном уровнях проводятся исследования по этой теме. Например, созданы программы PAGIS (Европейская комиссия, 1988 г), SITE-94 (Швеция, 1996), BIOMASS (МАГАТЭ, 1996 г.) и др. В 1997 г. в рамках координационного исследовательского проекта МАГАТЭ «Усовершенствование методологии долгосрочной оценки безопасности приповерхностных сооружений для захоронения РАО» был разработан обобщенный методологический подход (ISAM), который аккумулировал опыт многих стран. Подход оказался настолько удачным, что сегодня его используют для разработки специальных методик на всех этапах обращения с РАО [46],[47].

ISAM был опробован еще на стадии разработки при оценке приповерхностных хранилищ различных типов, а также проекта скважинного захоронения закрытых источников.

В 2002 г. МАГАТЭ развернуло новую исследовательскую программу – ASAM [48]-[50], основная цель которой – разработка практических рекомендаций по применению методики ISAM для оценки безопасности специфических объектов или ситуаций. В их числе:

- отходы и отвалы горнодобывающего и перерабатывающего производства, содержащие РАО большого объема с природными радионуклидами;

- отходы, характеризующиеся значительной неоднородностью по физическим свойствам и активности (закрытые источники ионизирующего излучения);

– старые хранилища, требующие повторной оценки безопасности для принятия решения о целесообразности их дальнейшей эксплуатации.

Проект был завершен в 2007 г. В результате было подтверждено, что применявшиеся ранее методологии ISAM обеспечивают хорошую основу для проведения оценок безопасности, они также пригодны для принятия мер в связи с воздействием нерадиоактивных загрязнителей.

Применительно к оценке безопасности приповерхностных хранилищ РАО, предназначенных для захоронения твердых и (или) отвержденных РАО, в России разработано РБ-011-2000 [51] "Оценка безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов", в котором оценку безопасности хранилища РАО рекомендуется начать с определения основных исходных данных, необходимых для ее проведения. Для этого следует сгруппировать все исходные данные в отдельные блоки, каждый из которых относится к одной из подсистем, на которые может быть разбито хранилище РАО.

Подсистемы хранилища РАО. Целесообразно рассматривать хранилище РАО как совокупность следующих подсистем:

Область хранилища РАО, являющаяся источником радионуклидов (область источника радионуклидов) – упаковка РАО, включающая матрицу отходов, контейнер и другие элементы упаковки.

Здания, сооружения, системы и элементы хранилища РАО (инженерная часть хранилища РАО) – инженерные барьеры хранилища РАО, включающие строительные конструкции, буферные материалы и запечатывающие элементы, а для приповерхностных хранилищ РАО, сооружаемых открытым способом, – покрывающий и подстилающий слои материалов.

Ближняя зона хранилища РАО – часть вмещающих или несущих грунтов контактирующих с сооружениями хранилища РАО, процессы в которых могут быть взаимосвязаны с процессами, протекающими в инженерной части хранилища РАО.

Дальняя зона хранилища РАО – часть вмещающих или несущих грунтов, контактирующих с ближней зоной хранилища РАО и биосферой, состояние и характеристики которых влияют на миграцию РВ от границы ближней зоны хранилища РАО к границе биосферы, и изменения состояния которых в связи с любыми возможными

процессами и событиями как природного, так и техногенного происхождения, могут привести к изменению этих характеристик.

Окружающая среда (биосфера) – совокупность всех элементов непосредственного окружения популяции человека, живущей в зоне, в которой она может подвергнуться радиационному воздействию хранилища РАО (далее – зона влияния хранилища РАО), и сама популяция.

Примечания:

1. Разбивка на указанные подсистемы является условной, но в целом отражает различие в физических и химических процессах, происходящих в хранилище, и облегчает в дальнейшем процедуру моделирования изменений, которые происходят в целом в хранилище.

2. Подобная разбивка на подсистемы вероятно возможна и для других систем хранения РАО, например, открытых водоемов-хранилищ, хвостохранилищ с соответствующей корректировкой функций подсистем и соответствующих границ подсистем.

3. Принятые при оценке безопасности хранилища РАО пространственные границы дальней зоны хранилища РАО должны быть такими, чтобы за их пределами при любых сценариях возможного нормального облучения популяции человека концентрации радионуклидов в элементах окружающей среды не могли бы превысить значения, при которых эффективные дозы облучения критической группы лиц из населения могут быть выше 10 мкЗв/год.

Определение исходных данных для оценки безопасности хранилища РАО. Для подсистем, рассмотренных выше, характерны следующие исходные данные.

Исходные данные, характеризующие область источника радионуклидов: тип РАО, физико-химические характеристики РАО, радиационные характеристики РАО, материал и конструкция контейнеров и другие (более полные требования к перечню характеристик приемлемости РАО, размещаемых в хранилищах, приведены в гл. 8).

Исходные данные, характеризующие инженерную часть хранилища: структура системы барьеров безопасности; геометрические характеристики барьеров безопасности; используемые материалы; защитные, прочностные и другие характеристики барьеров безопасности.

Исходные данные, характеризующие ближнюю зону хранилища: минералогический и гранулометрический состав и структура вмещающих или несущих грунтов; их физико-химические свойства, в

том числе: плотность, прочность, пористость, коэффициент фильтрации, коэффициенты диффузии различных радионуклидов, коэффициенты межфазного распределения или эквивалентные им при данной пористости коэффициенты задерживания различных радионуклидов и т.д.; данные, характеризующие долговременную стабильность вмещающих и (или) несущих грунтов как барьеров безопасности по отношению к изменениям геохимической обстановки, возможным под влиянием инженерной части хранилища РАО.

Исходные данные, характеризующие дальнюю зону хранилища: те же, что и для ближней зоны, а также данных, характеризующих долговременную стабильность грунтов как барьеров безопасности по отношению к изменениям геохимической обстановки, возможным под влиянием инженерной части хранилища РАО; геолого-тектонические, гидрогеологические, сейсмические и инженерно-геологические условия.

Исходные данные, характеризующие окружающую среду, включая популяцию человека: топографические, демографические и гидрометеорологические условия; аспекты, связанные с деятельностью и спецификой поведения человека; характеристики биоты.

Разработка сценариев эволюции хранилища РАО. Основные понятия, связанные с эволюцией хранилища РАО.

Сценарий эволюции хранилища РАО – одна из возможных в течение жизненного цикла хранилища РАО последовательностей логически связанных между собой *событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов*, определяющих эволюцию хранилища РАО, характеристики миграции радионуклидов из него в окружающую среду, уровни облучения человека.

Эволюция хранилища РАО – логически обусловленная и упорядоченная во времени последовательность взаимосвязанных состояний хранилища, принимаемых им в течение всего жизненного цикла в результате: внешних воздействий природного и техногенного происхождения, включая инициирующее развитие аварий в хранилище; действий персонала, обслуживающего хранилище, включая ошибки персонала; физико-химических процессов, протекающих в хранилище.

Сценарий нормальной эволюции хранилища РАО – базовый сценарий эволюции хранилища РАО, описывающий нормальное (наиболее вероятное) протекание природных процессов. Значение вероятности его реализации должно быть близко к единице.

Альтернативные (вероятностные) сценарии эволюции хранилища РАО – сценарии, описывающие особенности возможной эволюции хранилища РАО при различных внешних воздействиях, реализующихся с вероятностью, существенно меньшей единицы, включая воздействия максимальной возможной интенсивности.

Примечание. Перечень событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов (FER – Features, Events, Processes list), существенно влияющих на безопасность приповерхностных хранилищ РАО, является довольно обширным и разделяется, как правило, на группы и подгруппы. В качестве групп используются «естественные явления», «процессы и эффекты, связанные с активностью человека», «эффекты, связанные с отходами и хранилищами» [52]. В группе «естественные явления» могут выделяться например, вземные, геологические, климатические, геоморфологические, гидрологические и т.д. подгруппы.

Для оценки безопасности хранилища РАО можно разработать большое количество сценариев возможной эволюции хранилища. Ясно, что проанализировать каждый из них невозможно. Поэтому рекомендуется определить конечный набор таких сценариев, которые в совокупности позволили бы учесть *основные особенности* возможной эволюции хранилища РАО, определяющие его радиационное воздействие на человека и окружающую среду.

Необходимо выбрать несколько сценариев эволюции хранилища РАО, принципиально отличающихся друг от друга по учитываемым в них FER и по уровням возможного радиационного воздействия на человека и окружающую среду (базовых сценариев).

В РБ-011-2000 приводится алгоритм выбора базового и ряда альтернативных вероятностных сценариев, суть которого сводится к следующему.

При определении набора сценариев эволюции хранилища РАО рекомендуется: рассмотреть все возможные значимые FER, существенно влияющие на эволюцию хранилища РАО; проанализировать причинно-следственные связи и экспериментально установленные корреляции между событиями, явлениями, процессами и факторами и определить возможные при данном сценарии эволю-

ции хранилища РАО пути облучения человека и поступления радионуклидов в окружающую среду.

Для каждого проекта хранилища РАО необходимо создание своего FEP, так как этот перечень существенно зависит от конструктивных решений хранилищ РАО, характеристик размещенных в нем РАО, локальной геологической, геолого-ландшафтной и геохимической обстановки, конкретных климатических условий и т.д. Пример составления укороченного списка событий, явлений и факторов, влияющих на безопасность на безопасность приповерхностного хранилища РАО, приведен в приложении 1.

Примечание. В основе базового сценария, например, может лежать исходное событие, обусловленное разрушением верхнего покрытия хранилища траншейного типа в очень дождливое лето сразу после закрытия хранилища.

Альтернативными сценариями могут быть исходные события, произошедшие через сто лет после закрытия хранилища. Первый сценарий связан со строительством жилого дома на месте захоронения РАО и разведением подсобного хозяйства. Второй сценарий – с разработкой скважины или строительства колодца для получения питьевой воды. Третий сценарий может быть связан с затоплением хранилища в результате паводка или обильных дождей. Эти события маловероятны в списке событий FEP.

Конечным результатом количественной оценки уровня безопасности хранилища РАО на рассматриваемом этапе его жизненного цикла должны быть значения ожидаемых доз облучения критической группы лиц из населения. Критическая группа должна быть определена с учетом того, что формирование дозы облучения индивидуумов по всем возможным путям (внешнее и внутреннее облучение) зависит прежде всего от особенностей существования популяции человека в районе потенциального влияния хранилища. Предполагаемая схема формирования дозы облучения индивидуумов представляет собой сценарий облучения человека. В качестве конечных количественных критериев могут быть выбраны другие критерии, характеризующие облучение население (уровень риска, индивидуальная доза, уровень вмешательства и др.). Целесообразно, чтобы количественные показатели этих критериев были представлены в нормативных документах.

Разработка концептуальной модели. После разработки сценария эволюции хранилища РАО выбирается принципиальная схема для его количественного анализа. С этой целью для каждого сценария должен быть определен набор предположений об особенностях

эволюции хранилища РАО, происходящих в нем и вне его ФЕР, влияющих на безопасность хранилища. Необходимо также определить и обосновать набор упрощающих предположений о *начальных и граничных условиях*, которые следует принять при проведении количественной оценки безопасности хранилища РАО. Указанные предположения составляют концептуальную модель хранилища РАО, соответствующую данному сценарию его эволюции.

Эта модель должна содержать описание:

- характеристик хранилища РАО как источника радионуклидов;
- физических сред и механизмов выхода, в результате которых происходит выход радионуклидов из источника;
- геосферных сред переноса и механизмов геосферного переноса, возможных процессов, определяющих миграцию радионуклидов через геосферу;
- биосферных сред переноса и механизмов биосферного переноса, возможных процессов, определяющих миграцию радионуклидов через биосферу;
- механизмов облучения, видов воздействия радионуклидов на человека и окружающую среду.

Примечание. В качестве примера рассмотрим некоторые допущения (упрощения), которые могут приниматься при формировании концептуальной модели хранилища траншейного типа (консервативная оценка):

- воздействие хранилища на геосферу начинается с момента начала загрузки в него РАО;
- расчеты миграции радионуклидов проводятся для первого от поверхности водоносного горизонта;
- распространение радионуклидов происходит по одномерной, плоскопараллельной схеме;
- процесс распространения радионуклидов является стационарным (во времени), а поперечная дисперсия радионуклидов в водоносном горизонте не учитывается;
- основными процессами, способствующими миграции радионуклидов из хранилища, при моделировании являются: инфильтрация в ненасыщенной зоне, инфильтрация и продольная дисперсия в водоносном горизонте;
- исследование миграции в геосфере ограничивается только наиболее значимыми радионуклидами;
- конечный результат прогнозных расчетов определяется как удельная активность радионуклидов в воде водоносного горизонта на заданном расстоянии от хранилища;
- в качестве критериев безопасности принимаются УВ наиболее значимых радионуклидов.

Концептуальная модель хранилища РАО должна давать правильное, полное и качественное описание хранилища как опасного объекта, оказывающего радиационное воздействие на человека и окружающую среду в соответствии с данными сценариями эволюции хранилища и облучения человека, а также должна быть как можно более простой, но достаточно детализированной для адекватного описания его эволюции.

Разработка математической модели хранилища РАО. Для проведения количественной оценки безопасности хранилища РАО следует сконструировать *математическую модель*, используя известные уравнения, описывающие процессы переноса радионуклидов из хранилища через его инженерную часть, ближнюю и дальнюю зоны в окружающую среду в соответствии со следующей схемой:

- поток радионуклидов через инженерную часть хранилища,
- поток радионуклидов через ближнюю зону хранилища,
- поток радионуклидов через дальнюю зону хранилища,
- концентрация радионуклидов в окружающей среде,
- индивидуальная доза.

С этой целью концептуальная модель для каждого сценария выражается в виде группы алгебраических или дифференциальных уравнений с соответствующими граничными и начальными условиями. Концептуальным моделям может соответствовать более чем одно математическое уравнение. В совокупности эти уравнения представляют собой одну математическую модель.

Математическое представление концептуальной модели зависит от степени детализации, с которой элементы перечня FEP природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов должны быть отражены при моделировании. Ограничения могут потенциально привести к пересмотру перечня FEP, который должен быть включен в уточненную модель. Любое ограничение рекомендуется документировать и отмечать ожидаемое влияние новых элементов уточненного перечня на математическую модель.

Выбор программных средств и исходных параметров расчета. Численные расчеты в соответствии с разработанной математической моделью проводятся с использованием *аттестованных программных средств* (ПС). В зависимости от решаемой задачи

могут использоваться как существующие, так и специально разрабатываемые ПС.

В некоторых случаях (например, на ранних этапах процесса оценки безопасности) достаточно разработать упрощенные математические модели с использованием электронных таблиц. Модели, используемые на последних этапах, особенно для выполнения итогового варианта оценки безопасности, должны быть наиболее обобщающими и точными.

Анализ неопределенности и чувствительности. Оценки всегда имеют некоторую неопределенность или, другими словами, оценки определяются с некоторой погрешностью. Неопределенность оценки может быть значительно уменьшена путем улучшения качества и увеличения количества исходных данных, а также путем усовершенствования моделей.

В общем виде неопределенность оценки может быть представлена как сумма неопределенности концептуальной модели и неопределенности значений входных параметров. Например, перенос радионуклида через барьеры ближней зоны может быть описан как фильтрация и (или) как диффузия. В реальности оба эти явления параллельны. Однако в зависимости от интенсивности водного потока через барьер один из этих процессов является доминирующим механизмом переноса. В этом случае, очевидно, что при отсутствии сведений о реальном водном потоке через барьер выбор модели переноса становится неопределенным.

Неопределенность простых, количественно легко определяемых параметров может быть рассчитана с достаточной степенью точности. Основываясь на информации, можно поделить спектр значений параметра на области невероятных, маловероятных и наиболее вероятных значений. Таким образом, могут быть заданы функции распределения вероятности, определяющие значения параметров. В первую очередь, неопределенность может быть уменьшена только при получении большего количества информации, единственным источником которой являются измерения, проведенные в реальной системе и полученные *экспериментальным путем*.

Особым источником неопределенности является пространственная неопределенность, поскольку точное знание пространственного распределения ряда параметров не может быть достигнуто никогда при ограниченном числе измерений.

Анализ чувствительности позволяет ответить на вопросы: «Как изменится результат расчета, если изменить один из параметров модели?» или «Какие параметры являются значимыми, имеют наибольшее влияние на конечный результат?». Самый простой путь выполнения анализа чувствительности состоит в изменении одного за другим значений параметров модели и в вычислении соответствующего изменения результата на выходе модели. Анализ чувствительности позволяет также иногда выявить неустойчивость используемой модели.

Подтверждение и экспертиза моделей. Достоверность информации (данных) и правильность моделей, используемых для получения прогнозных оценок, имеют большое значение для обеспечения достоверности оценки безопасности хранилища РАО. Подтверждение модели – это процесс сравнения модельных предсказаний с независимыми полевыми наблюдениями и экспериментальными измерениями. Модель не может считаться подтвержденной, пока не проведено ее соответствующее тестирование, гарантирующее допустимый уровень точности прогноза.

Одной из наиболее существенных попыток подтверждения моделей был проект INTRAVAL, который разрабатывался Шведской Инспекцией по ядерной энергии (SKI) в 1987 – 1993 гг. В нем приняли участие около 30 исследовательских групп из 12 стран.

При выполнении проекта INTRAVAL внимание было сфокусировано на анализе различий результатов, полученных с помощью альтернативных концептуальных моделей, включая исследование экспериментальных методов. Несколько проектных групп разработали статистическую гипотезу для экспертизы и анализа различных альтернативных моделей.

Документирование результатов оценки. Документация – очень важная часть оценки. Документация должна быть такой, чтобы процедура оценки, проведение оценки, вычислительные операции, экспериментальные результаты и т.д. были понятны всем заинтересованным сторонам и могли быть воспроизведены. Чтобы достичь этого понимания, документация должна содержать ясное и краткое описание положений безопасности, их основ, а также критериев, на основе которых принимается решение об уровне безопасности хранилища РАО. Документация должна сохраняться для-

тельное время в соответствии с требованиями национального законодательства.

4.2. Миграция (утечка) радионуклидов

Основным фактором загрязнения окружающей среды является утечка радионуклидов с водой. Поэтому основное внимание уделим миграции радионуклидов в водной фазе, а утечку радионуклидов в газообразной форме рассмотрим кратко. В качестве примера используем гипотетическое приповерхностное хранилище.

Газообразные утечки могут происходить из отходов, содержащих радиоактивные газы (особенно радон) или радионуклиды, способные переходить в газообразную форму в результате процессов, протекающих в хранилище. Например, из-за микробного разложения органических материалов. При этом, как правило, образуется диоксид углерода и метан. Существуют и другие процессы образования газов, например, анаэробная коррозия¹⁴ стальных контейнеров или металла в отходах.

Для ВАО, выделяющих тепло, газообразование может усиливаться из-за радиолиза и нагрева химических элементов отходов и стенок хранилища. Если в хранилище имеются трещины, то газы могут выйти за пределы хранилища и далее в атмосферу.

Утечки в водной фазе. Процессами, сопровождающими миграции радионуклидов в водной фазе, обычно являются: растворение радионуклидов в воде, перенос радионуклидов с потоком воды, фильтрация, диффузия и сорбция.

Растворение радионуклидов в воде. Содержащиеся в отходах радионуклиды растворяются в контактирующей с ними воде. Скорость растворения зависит от того, где находятся радионуклиды в отходах. Если радионуклидами загрязнена поверхность отходов, то они будут растворяться быстрее, а если радионуклиды находятся в объеме отходов – то медленнее. В последнем случае скорость растворения радионуклидов будет определяться скоростью растворения материалов РАО.

¹⁴ Анаэробная коррозия – коррозия в отсутствие атмосферного кислорода, происходящая в присутствии некоторых бактерий, дрожжей, простейших, червей.

При определении безопасности хранилищ для отходов различной природы обычно предполагается, что все содержащиеся в них радионуклиды мгновенно растворяются в воде (консервативная оценка). Растворимость радионуклидов в воде зависит от ее состава, главным образом, от величины pH (водородного показателя), концентрации комплексообразующих агентов, а для элементов с переменной валентностью – от величины Eh (электрохимического потенциала).

Перенос радионуклидов с потоком воды. Движение воды внутри бетонного хранилища приводит к переносу растворенных в ней радионуклидов. Для оценки переноса радионуклидов необходима информация об интенсивности, направлении и распределении потоков внутри хранилища. Поток, входящий в хранилище, зависит от гидрогеологической ситуации в месте захоронения и проницаемости (степени фильтрации) бетонных стен. Процесс фильтрации через естественные природные барьеры определяется коэффициентом фильтрации, который характеризует влагопроницаемость, зависящую от размеров сообщающихся между собой пор, вязкости и удельного веса фильтрующейся жидкости, характера фильтрующей среды, количества заземленного воздуха, температуры и других факторов. Например, коэффициент фильтрации для глины составляет менее 0,001 м/сут, супеси от 0,01 до 1,0 м/сут, гравия 100-150 м/сут.

Над хранилищем, как правило, располагается несколько барьеров, предотвращающих поступление в него влаги. Однако гидрологические барьеры могут изменяться со временем, теряя свои основные защитные свойства. Вода может проникнуть в хранилище, например, из-за повышения уровня грунтовых вод.

Вода не сразу может начать взаимодействовать с отходами, если они помещены в стальные герметичные контейнеры (например, 200 литровые стальные бочки). Со временем в результате коррозии контейнеры становятся проницаемыми, а поток воды в хранилище – все более равномерным.

Из-за образования газов в объеме хранилища может создаться избыточное давление, способствующее вытеснению воды к верхней части хранилища и выведению воды из него. Современные конструктивные решения хранилищ предусматривают выход газов без создания избыточного давления.

Диффузионный перенос радионуклидов из хранилища через физический барьер, окружающий РАО, происходит в стремлении системы восстановить термодинамическое равновесие. Скорость диффузионного переноса зависит от разницы концентраций на заданном расстоянии и от физической структуры материала, в котором происходит диффузия. Диффузионность также зависит от проницаемости материала, характеристик порового пространства материалов хранилища, а также от степени насыщения пор водой. Бетонные хранилища характеризуются, как правило, низкой степенью насыщения пор водой, что приводит к снижению диффузионного процесса.

Диффузионный процесс через поры твердого вещества, заполненные водой, характеризуется водным коэффициентом молекулярной диффузии D , который не является неизменной величиной и зависит от многих факторов: температуры, засоленности воды, толщины защиты, взаимодействия водного раствора с пористой средой и др.[10]. Его значения, например, для бетона и глинистых грунтов находятся в пределах $10^{-1} - 10^{-4} \text{ м}^2/\text{год}$.

Сорбция радионуклидов. Часть радионуклидов при их фильтрации и диффузии вступают с грунтами и грунтовой водой в различные физико-химические реакции, способные изменить свойства движущихся жидкости и грунта. Большое место в указанных реакциях занимают явления сорбции и ионообмена, существенным образом изменяющие химический состав фильтрующийся жидкости и фильтрационные свойства грунтовой среды. Сорбционные процессы разделяются на адсорбцию, абсорбцию, хемосорбцию и др. [53]. *Адсорбция* – поглощение вещества из газовой или жидкой среды поверхностным слоем вещества (твердого тела или жидкости). *Абсорбция* – поглощение вещества из газовой среды или жидкой среды всей массой (объемом) другого вещества. *Хемосорбция* – поглощение одного вещества другим, сопровождающееся химическими реакциями.

Степень сорбции зависит от состава материалов защитных барьеров хранилища (бетон, железобетон, глина, бентонит и др.) и от химической формы радионуклидов в растворе.

При оценке безопасности захоронений сорбция обычно описывается с помощью коэффициента распределения K_d ($\text{см}^3/\text{г}$) каждого радионуклида (коэффициента межфазного распределения), равного

отношению количества (активности) радионуклида, содержащегося в твердой фазе материала защиты или породы N (Бк/г) к его равновесному содержанию в поровой жидкости C_0 (Бк/см³). Применяется также безразмерный коэффициент межфазного распределения $K = K_d \rho$, где ρ – объемная плотность материала, г/см³ (отношение массы «скелета» вещества к единице объема). Значения K_d получают экспериментально.

Задерживающие свойства материала или породы характеризуются эффективной пористостью $n_s = K_d \rho + n_0$ и фактором задержки $R = n_s / n_0$, где n_0 – активная или открытая пористость (пустотность) породы.

Эффективная пористость, учитывающая процессы задержки и накопления радионуклидов в материале, физически представляет собой отношение общей активности радионуклидов в единице объема (в поровом пространстве и в твердой фазе) к удельной активности в поровой жидкости. Фактор задержки характеризует отношение действительных скоростей перемещения раствора в материале защиты или в породе к скорости перемещения раствора, не взаимодействующего с материалом. Например, при $K_d = 1$ см²/г, $\rho = 2$ г/см³, $n_0 = 0,3$ величина эффективной пористости составит $n_s = 2,3$ и фактор задержки $R = 7,7$.

Пыление и разнос водяной пыли. Для хранилищ открытого типа (поверхностные водоемы-хранилища ЖРО, хвостохранилища) характерным способом распространения радионуклидов является разнос водяной и земляной пыли, содержащей радионуклиды, на большие расстояния от хранилищ РАО.

Обычно при расчете миграции отдельных компонентов растворов, в том числе радионуклидов, ограничиваются учетом только основных процессов, влияющих на значение скорости перемещения радионуклидов в пористой среде, в предположении независимости их действия и решения общей задачи путем суммирования результатов отдельных процессов.

4.3. Изменения характеристик отходов и барьеров с течением времени

Изменения, происходящие при хранении РАО, с течением времени оказывают влияние на миграционные свойства РАО и защитные способности физических барьеров.

Радиоактивный распад приводит к уменьшению концентрации радионуклидов в процессе их переноса, уменьшая таким образом утечку опасной радиоактивной составляющей РАО. Эффективность радиоактивного распада в процессе переноса в техногенном барьере зависит от соотношения времени нахождения радионуклидов в барьере и периода полураспада радионуклидов. При выборе способа захоронения и обеспечения условий для снижения степени распространения радионуклидов вне хранилища, большое значение придается периоду полураспада радионуклидов.

При взаимодействии радиоактивных веществ с окружающей средой, как правило, происходит повышение температуры, связанное с выделением тепла при радиоактивном распаде. Температура может изменяться также и при химических реакциях растворов в хранилище. Если отвод тепла затруднен, температура среды может изменяться на десятки и сотни градусов, приводя к изменениям характеристик фильтрации, диффузии, осмоса и др.

Следует также принимать во внимание, что в процессе распада образуются новые радионуклиды, свойства которых в части взаимодействия с инженерными и естественными барьерами (сорбция, диффузия) могут довольно сильно отличаться от первоначально захороненных радионуклидов.

Выщелачиваемость цемента и бетона. Под термином «выщелачивание» обычно понимается вымывание из вещества дисперсионно-распределенных химических соединений и непосредственное растворение элементов этого вещества [53].

Последовательное выщелачивание наиболее легкорастворимых щелочей из цемента, в состав которого входят оксиды CaO , Al_2O_3 , SiO_2 и Fe_2O_3 , приводит к постепенному изменению значения pH до $\approx 12,5$, которое поддерживается растворением свободного портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Дальнейшее выщелачивание приводит к растворению кальция из-за присутствующего в цементе геля силиката каль-

ция, после чего значение pH приближается к 10-11. Временные рамки выщелачивания цемента и соответствующие изменения щелочности раствора определяются скоростью движения воды через систему и скоростью диффузии растворяющихся компонентов. Однако различные исследования показывают, что гидроксиды щелочных металлов будут определять значения pH водной фазы по крайней мере в первые 100 – 1000 лет, а портландит будет сохраняться в цементе в течение 10^5 лет.

Исследования также показывают, что, хотя выщелачивание изменяет химический состав цемента и бетона, эти изменения слабо влияют на их сорбционную способность, поскольку значение pH остается достаточно высоким.

Коррозия стальных контейнеров и стали в отходах. В результате взаимодействия металлических элементов с кислородом происходит их коррозия и постепенное разрушение. Кислород может присутствовать изначально в хранилище, образовываться в результате химических реакций элементов отходов и конструкций хранилища, а также поступать в хранилище извне.

Коррозия контейнеров влияет на их проницаемость водными растворами и газами. При скорости коррозии углеродистой стали порядка 10^{-3} - 10^{-2} мм/год стенки контейнера толщиной 1 мм полностью разрушатся за время от 100 до 1000 лет при условии протекания коррозии только с наружной стороны. Если коррозия протекает и изнутри, то это время составит 50-100 лет. Кроме того, в результате образования газов из-за анаэробной коррозии стали и микробного разложения органических отходов внутри контейнера может создаться избыточное давление (распухание контейнера) и появление путей (микротрещин, нарушение герметичности швов) выхода газов еще до коррозионного разрушения стенок контейнера. Более того, существует реальная вероятность того, что ряд контейнеров изначально негерметичны.

Большое значение для утечки радионуклидов имеет коррозионное разрушение контейнеров. Поэтому при анализе безопасности хранилища РАО используют консервативный подход, пренебрегая контейнером как одним из физических барьеров, полагая, что контейнер отсутствует.

Микробное разложение органических материалов. Особенность микробного разложения РАО состоит в том, что органиче-

ские материалы могут подвергаться разложению как в присутствии кислорода (аэробное разложение), так и в отсутствие кислорода (анаэробное разложение). Продуктами аэробного разложения является диоксид кислорода и вода, а анаэробного – водород, диоксид углерода и метан с образованием карбонатных кислот, представляющих собой комплексные соединения радионуклидов с органическими кислотами.

Жизнедеятельность микробов в присутствии кислорода сопровождается его потреблением и, следовательно, влияет на окислительно-восстановительные процессы в хранилище.

Щелочное разложение целлюлозы. Целлюлоза входит в состав дерева, бумаги, текстиля (загрязненная спецодежда персонала) и др. В щелочной среде при $pH > 10-11$ целлюлоза гидролизуеться, и одним из продуктов реакции является изосахариновая кислота. Эксперименты, проведенные во многих странах, показали, что эта кислота образует устойчивые комплексы с некоторыми радионуклидами, изменяя при этом их растворимость и сорбционную способность.

Изменение порового пространства. Существуют процессы, которые изменяют пористость защитных материалов, «забивая и засаливая» поры, уменьшая тем самым проницаемость барьеров. Процессы, приводящие к снижению пористости, рассмотрены, например в [52].

4.4. Постановка задач анализа и примеры расчета моделей

Как уже отмечалось, для расчета моделей переноса радионуклидов и учета влияния различных FEP используются аналитические решения и ПС. Рассмотрим ряд примеров постановки задач при исследовании переноса радионуклидов в течение времени, при разработке сценариев протекания процессов в хранилище и ближней зоне, а также при определении FEP, влияющих на миграционные процессы радионуклидов. Более подробные и конкретные сведения, а также обсуждения полученных результатов прогнозного моделирования, можно найти, например, в [54]-[57].

В [54] приводится оценка безопасности хранилища с твердыми и отвержденными НАО и САО, упакованными в бетонные контейнеры с использованием чис-

ленных, численно-аналитических и аналитических методов. Анализируются также процессы, происходящие в источнике загрязнения в ближней и дальней зонах.

Приповерхностное хранилище представляет собой железобетонную емкость в приповерхностном слое грунта, сверху перекрытое бетонными плитами. Над верхним перекрытием сделан изолирующий экран из уплотненной глины, покрытый слоем земли. Под днищем хранилища находится сорбционный слой из смеси песка и глины. Еще ниже располагается водоненасыщенная зона, отделяющая его от водоносного горизонта. Предполагается, что РАО упакованы в стальные бочки. Контейнеры устанавливаются в хранилище в штабеля один на другой. Пространство между контейнерами может быть заполнено песком или бентонитом. Наполнитель может укладываться также между рядами контейнеров.

В качестве базового сценария выхода радионуклидов из хранилища рассматривается ситуация, когда с течением времени защитный экран, верхнее перекрытие и нижнее основание получили разрушения, и часть атмосферных осадков просачивается в хранилище. Предполагается также, что при этом стенки контейнеров не претерпели изменений и радионуклиды могут выйти наружу только посредством диффузии в межпоровой влаге. Полагается, что осадки равномерно распределены в течение года и промежуток между контейнерами насыщен влагой, которая перемещается постоянно сверху вниз между контейнерами. Учитываются также сорбционные процессы при движении влаги в межпоровом пространстве.

Целью расчетов является определение концентрации радионуклидов, мигрирующих к поверхности водоносного горизонта, и сравнение ее с допустимой концентрацией радионуклидов в воде в соответствии с требованиями нормативных документов. Приводятся результаты расчетов для хранилища с конкретными конструктивными данными для миграции радионуклидов цезия-137 и нептуния-237.

В работе [55] рассматривается моделирование частной, однако, очень распространенной задачи диффузии радионуклидов из приповерхностных хранилищ ЖРО.

Если скорость фильтрации V настолько мала, что мера отношения конвективного переноса к диффузионному (число Пекле) много меньше единицы $hV/D \ll 1$ (h – толщина барьера, D – коэффициент молекулярной диффузии), то в таких барьерах основным механизмом переноса радионуклидов является молекулярная диффузия, например, для неповрежденного хорошо уплотненного глиняного экрана. Полагается также, что водоносный горизонт отделен от глиняного экрана значительным слоем ненасыщенной зоны, а напор слоя воды создает градиент фильтрации (20 – 50), что значительно выше, чем градиенты напора в «сухих» приповерхностных хранилищах.

Процесс диффузионного переноса радионуклидов через глиняный экран днища хранилища ЖРО моделируется с помощью одномерного уравнения конвективной диффузии. Учет сорбционных свойств экрана производится с помощью коэффициента межфазного распределения K_d . Для описания поведения системы со временем t и по глубине экрана x приняты следующие граничные и начальные условия:

– на границе между ЖРО и глиняным экраном (при $x=0$) отсутствует поток радионуклидов (производная концентрации по координате x равна нулю);

– на границе ($x=h$) концентрация радионуклидов $C(t, x)$ равна нулю, предполагается, что при выходе радионуклидов из барьера происходит разбавление и растекание раствора;

– в нулевой момент времени вся накопленная в области источника активность распределена в виде бесконечно тонкого слоя, математически описываемого дельта-функцией.

В работе с учетом влияния распада радионуклидов со временем получены формулы для распределения концентрации радионуклидов в жидкой фазе ($\text{Бк}/\text{м}^3$) по толщине экрана для различных моментов времени, а также для определения плотности диффузионного потока радионуклидов ($\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{год}$) на выходе из барьера ($x=h$). Расчеты проведены для радионуклидов плутоний-239 и цезий-137, период полураспада которых отличается почти в 1000 раз. Подтверждена работоспособность модели переноса радионуклидов через глиняный барьер с помощью анализа чувствительности выходных параметров к изменению коэффициента диффузии, коэффициента межфазового распределения и толщины защитного глиняного барьера.

Задачи частного характера, подобно той, что была представлена выше, могут быть решены строго аналитическими методами с ограниченным привлечением вычислительной техники. Однако, как правило, моделирование процессов переноса радионуклидов из источника (хранилища РАО) в ближнюю, а затем в дальнюю зоны и биосферу, приводит к сложным многопараметрическим уравнениям, для которых необходимо проведение всестороннего исследования путем изменения ряда параметров, входящих в эти уравнения.

В настоящее время разработано большое количество ПС как общего, так и специального назначения. К ПС общего назначения можно отнести, например, Model Marker, Amber, Powersim, Stella, Ithink, Matlab/Simulink и др. Эти ПС, за исключением Matlab/Simulink, представляют собой так называемые, ящичные или камерные модели. Большинство ПС позволяют проводить анализ неопределенности и чувствительности, и результаты их могут быть представлены графически [52]. Для решения конкретных задач используются специальные ПС: Femwater, Modflow, HELP, Mike She, Twodan (гидрогеология подземных вод), BIOMOD 3D, Bioplume II-III, Bioscreen, Ctran/W, Modpath, MT 3D (перенос загрязнения, диффузия и адсорбция) и др.

Несмотря на наличие ПС, пользователь программы должен иметь представление о математических и численных методах, которые автоматизированы с помощью ПС. Пользователь должен понимать процесс вычислений. Целесообразно, чтобы правильность

работы ПС была бы проверена с помощью простых и ясных моделей с использованием, в том числе, и численно-аналитических методов. В качестве примеров рассмотрим использование программы Amber.

В [56] приведены результаты прогнозных расчетов миграции радионуклидов урана-238, радия-226, тория-232, цезия-137 и калия-40 с загрязненных участков территории ГП «Московский завод полиметаллов (МЗП)» в Москву-реку. В результате деятельности предприятия в 1934 – 1972 гг. участки производственной территории предприятия оказались загрязненными РАО. С 1995 г. здесь проводились работы по выемке грунтов до глубины 1 м и удалению их для долговременного хранения на полигоне ГУП МосНПО «Радон». После дезактивации часть территории ГП «МЗП» осталась загрязненной.

Цель работы состояла в долгосрочном прогнозе миграции указанных радионуклидов с загрязненных участков в реку с подземными водами и определение момента времени, с которого концентрация радионуклидов превысит УВ в воде.

Составлению входных данных для ПС предшествовало подробное описание гидрогеологии района размещения загрязненных участков предприятия. Установлено, что основным механизмом переноса радионуклидов в пойму реки является верховодка¹⁵, в которую радионуклиды попадают в результате атмосферных осадков и талых вод (ФЕР). Мощность верховодки 1 м, глубина залегания 7 – 9 м. Коэффициент фильтрации насыпных грунтов 0,1 – 1,0 м/сут. Определены также другие гидрогеологические характеристики района загрязнения.

Из соображений консерватизма при проведении прогнозного расчета принят ряд допущений, основными из которых являются:

- анализ миграции ограничен перечисленными радионуклидами;
- территория предприятия условно разделена на девять районов по площади и на четыре слоя по глубине (от 0 до 8,5 м), но так, чтобы каждый из слоев находился на одной глубине. Таким образом, территория условно разделена на 36 блоков;
- каждому блоку на основании экспериментальных данных приписана усредненная удельная активность радионуклида;
- количество осадков, фильтрующихся через загрязненные радионуклидами участки, определено как разница между средним количеством атмосферных осадков и испарением;
- радионуклиды в водоносном горизонте распространяются по одномерной плоскопараллельной схеме и этот процесс постоянен во времени, поперечная дисперсия не учитывается;
- другие предположения.

Для моделирования миграции радионуклидов с загрязненных участков территории ГП «МЗП» в геосферу применили метод камерного моделирования про-

¹⁵ Верховодка – ближайшие к земной поверхности безнапорные подземные воды, не имеющие сплошного распространения, которые периодически накапливаются и затем исчезают за счет испарения или перетекания в более глубокие горизонты.

граммы AMBER 4.4. При моделировании использовались следующие подмодели: подмодель рекультивированного слоя (Remediation), подмодель слоя 1 (Layer 1), подмодель слоя 2 (Layer 2), подмодель слоя 3 (Layer 3). Полагалось, что из каждого рекультивированного слоя происходит последовательная фильтрация воды из вышележащих в нижележащие слои.

В работе получены зависимости прогнозируемых удельных активностей для исследуемых радионуклидов в воде верховодки в месте ее разгрузки в Москву-реку от времени. Проведен анализ чувствительности модели к изменению пористости, коэффициента фильтрации ненасыщенной зоны, коэффициента межфазного распределения.

В [57] представлен долгосрочный прогноз миграции радионуклидов из хранилища твердых РАО СХК, которое представляет собой заглубленное в землю железобетонное сооружение, разделенное на 12 отсеков. Для повышения эффективности изоляции РАО применяются гидроизолирующие материалы пенетрон, пенополистирол флорэмйт 200, гидроизоляционная мембрана EPDM, плоские асбестоцементные плиты.

ТРО в хранилище (нетехнологические НАО: средства индивидуальной защиты, строительные отходы, металлические обрезки и др.) упакованы в полиэтиленовые или крафт-мешки. Радионуклидный состав: углерод-14 (4 %), фосфор-32 (19 %), стронций-90 (1 %), хром-51 (65 %), кобальт-60 (1 %), кобальт-58 (1,5 %), цинк-65 (5 %), марганец-56 (1,5 %), железо-59 (1 %), цезий-137 (1 %).

ТРО загружены в отсеки хранилища последовательно тремя слоями по 1,5 м с заливкой каждого слоя цементным раствором и покрытием бетона толщиной 100 мм. Последний третий слой после отверждения дополнительно покрывают слоем бетона толщиной 300 мм, после чего отсек закрывают плитами и изолируют.

Цель работы – долгосрочная оценка безопасности данного хранилища ТРО с помощью оценки концентрации радионуклидов в воде на УВ. При проведении расчетов была рассмотрена миграция углерода-14, стронция-90 и цезия-137, поскольку они имеют наибольший период полураспада. Были также подробно изучены гидрогеологические условия района размещения хранилища.

При проведении работы выбраны три сценария миграции радионуклидов из хранилища в подземные воды: базовый и два альтернативных.

В базовом сценарии принято, что после потери железобетонным перекрытием своих защитных свойств, хранилище постепенно заполняется водой, которая, проходя через РАО, выщелачивает радионуклиды. Одновременно и боковые стенки теряют свои гидроизоляционные свойства, что при наличии воды ведет к ее фильтрации в ненасыщенную зону. В качестве основного механизма миграции рассматривали фильтрацию и задержку твердой и жидкой фазы. В прогнозном расчете учитывали также диффузию радионуклидов через основание, полагая, что бетон не меняет своих прочностных и фильтрационных свойств на протяжении 100 лет после завершения строительства, и к 300 годам коэффициент фильтрации бетона примерно соответствует коэффициенту фильтрации песка. Рассматривались также следующие альтернативные сценарии:

- уменьшение ненасыщенной зоны до 0,5 м, а верховодки – 5,5 м;
- через 50 лет после закрытия хранилища вследствие уменьшения объема отходов (по разным причинам) могут возникнуть пустоты, способные привести к

обрушению цементной перемычки и появлению трещин в бетонном основании этого отсека.

Для трех выбранных сценариев были составлены модели миграции радионуклидов с применением программы Ambeg 4.4. Система хранилища и геосфера были представлены в виде камер хранилища и ненасыщенной зоны, верховодки, состоящей из 10 камер.

Для упрощения моделирования процесса миграции в водоносных горизонтах принято, что радионуклиды распространяются по одномерной плоскопараллельной схеме и процесс переноса стационарен во времени.

Для оценки возможности влияния изменения входных параметров на конечный результат расчетов был проведен анализ чувствительности модели.

Исследования, проведенные во многих странах, показывают что не существует моделей, правильность которых доказана окончательно [27],[52],[58],[59]. Поэтому модель должна быть как можно более конкретизирована и приближена к особенностям объекта исследований. Несмотря на то, что указанные ПС могут оказать огромную помощь в проведении оценки, они не в состоянии подменить собой опыт и знания специалистов в данной области науки и техники.

Поскольку сложность проблемы долгосрочного моделирования состоит в том, что полученные результаты оценок безопасности с перспективой в 1000 и более лет не могут быть подтверждены экспериментально и результатами реальной эксплуатации ПЗРО, то в этом вопросе некоторые ученые предлагают опираться на соответствующие природные аналоги. С этой точки зрения - условия захоронения необходимо приближать к природным системам подобного рода, например к системам размещения полезных ископаемых и особенно урановых и ториевых руд.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит сущность обеспечения безопасности хранилищ РАО?
2. Сформулируйте основные этапы оценки безопасности ПЗРО.
3. На какие подсистемы целесообразно разбивать систему хранения РАО при составлении концептуальной модели хранилища РАО?
4. Что такое ближняя и дальняя зоны и, что включается в состав этих зон?

5. Что такое «перечень событий, явлений и факторов» (ФЕР)?
6. Для какой цели, кроме основного сценария эволюции развития процессов в хранилище, разрабатываются альтернативные сценарии?
7. Что такое концептуальная и математическая модели хранилища РАО?
8. Для каких целей необходимо определение неопределенности полученных результатов и чувствительности выбранной модели?
9. Какие механизмы миграции радионуклидов могут иметь место при хранении РАО в течение длительного периода времени?
10. Составьте список изменений РАО и инженерных барьеров, которые могут существенно влиять на безопасность пункта захоронения РАО.
11. Почему появление воды в объеме хранилища и вне его создает предпосылки для распространения радионуклидов за пределы хранилища РАО?
12. Как обеспечивается надежность оценок безопасности хранилища РАО?
13. Что такое консервативная оценка?

Глава 5. КОНТРОЛЬ В СИСТЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

5.1. Общие сведения

Контроль в системе обращения с РАО осуществляется с целью соблюдения требований нормативных документов в области обеспечения безопасности при обращении с РАО, а также получения своевременной и достоверной информации об уровнях радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду для своевременного принятия мер по обеспечению надлежащего уровня безопасности.

Контроль различных параметров на объектах ИАЭ для обеспечения его безопасности можно классифицировать: по объектам контроля, месту (зонам) проведения контроля на производстве, виду контроля, использованию контроля на различных стадиях жизненного цикла предприятия, регламенту контроля и др.

Рассмотрим наиболее характерные черты подобной классификации применительно к системе обращения с РАО.

Объекты контроля в системе обращения с РАО могут быть следующими:

- контроль характеристик РАО на всех стадиях обращения с ними, начиная со сбора. Тщательный и объемный контроль качества после кондиционирования РАО, с целью определения пригодности их для хранения и захоронения. Этот контроль зависит от вида излучения, категории отходов (ВАО, САО, НАО) и их агрегатного состояния (ЖРО, ТРО, ГРО);
- контроль технического состояния хранилищ и технологического режима хранения РАО, наблюдение и контроль за состоянием ПЗРО после его закрытия. Здесь решающую роль в объеме и характере контроля имеет тип хранилища;
- мониторинг окружающей среды: характеристик геологической среды, почвы, воздуха, воды, растений в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения как в период размещения РАО в хранилище, так и после его закрытия;
- дозиметрия обслуживающего персонала и населения, находящегося в зоне влияния хранилища РАО, радиометрия окружающей

обстановки и измерение уровня загрязнения транспорта, оборудования, одежды и прочее, измерение всех характеристик поля радиационного источника, влияющих на здоровье персонала и населения¹⁶.

Место проведения контроля. Производственные помещения (зоны строгого режима), санитарно-защитная зона и зона наблюдения.

Вид контроля. Контроль делится на радиационный (измерение радиометрических, спектрометрических и дозиметрических характеристик) и нерадиационный (измерение всех других химических и физических характеристик). Такое разделение оправдано тем, что объем радиационного контроля на объектах ИАЭ сравним со всеми другими видами контроля.

Контроль проводится на всех этапах жизненного цикла ПЗРО. Целесообразно выделить два этапа: контроль в процессе эксплуатации хранилища РАО и контроль после его закрытия (консервации). Объем, характер и регламент контроля в этих случаях могут существенно различаться и устанавливаться в материалах проекта хранилища.

Регламент контроля. Производственный контроль осуществляется, как правило, на основании [18],[60] и других метрологических документов государственной системы обеспечения единства измерений в стране, которые позволяют учитывать специфику производства и обращения с РАО, категории и вид РАО, парк измерительных средств, имеющихся на производстве и др. Этот контроль осуществляется для обеспечения безопасности и с целью контроля за соблюдением *условий безопасной эксплуатации (УБЭ) и пределов безопасной эксплуатации (ПБЭ)* (гл.13).

Периодичность (регламент) контроля характеристик РАО до закрытия хранилища определяется соответствующими производственными документами предприятия, а после закрытия – в соответствии с проектной документацией. Рекомендации по комплексному контролю ПЗРО приведены в [13],[61].

¹⁶ Нормы и требования по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения, а также способы контроля и его организация являются одинаковыми для всех объектов ИАЭ и всех видов производственной деятельности на этих объектах.

5.2. Контроль на различных стадиях обращения с РАО

Характеристики агрегатных состояний РАО контролируются с момента их образования. При этом важно зафиксировать источник образования РАО, так как при этом можно идентифицировать многие характеристики РАО и, соответственно, определить дальнейший порядок обращения с ними, способ обработки и захоронения.

Все контролируемые характеристики в соответствии с требованиями программы обеспечения качества (ПОК) должны документироваться с отметкой места и времени записи данных. Ниже приведены основные характеристики РАО, упаковок РАО и контейнеров, которые рекомендуются нормативными документами для оценки их качества в виде критериев качества, и поэтому должны контролироваться в системе обращения с РАО.

ТРО. На каждой стадии обращения с РАО определяется и документируется величина суммарной активности, радионуклидный состав, величина удельной альфа- и бета-активности. На этапе сбора для ТРО, представляющих собой металлоконструкции, оборудование, изделия из металла, контролируется мощность дозы гамма-излучения на поверхности РАО.

Кроме этих характеристик, измеряются также объем и масса ТРО, а также другие необходимые физические и химические характеристики в соответствии с НП-020-2000 [62].

ЖРО. На каждой стадии обращения с ЖРО определяется и документируется величина суммарной активности, радионуклидный состав, величина удельной альфа- и бета-активности, а также их количество (объем и масса).

Характеристики отвержденных ЖРО (отходов, помещенных в битумный или цементный компаунд или стеклоподобный материал), подлежащих контролю, зависят от вида переработки, однако всегда контролируются водостойчивость, радиационная и термическая устойчивость, механическая прочность, а также другие специфические для данного вида отверждения характеристики в соответствии с [35],[63],[64].

Для упаковок РАО с помещенными в него отходами (ТРО, ЖРО) и подготовленными для транспортирования, или хранения, или захоронения, определяются: радионуклидный состав; удельная аль-

фа- и бета-активность; мощность эквивалентной дозы; величина суммарной активности; однородность; механическая прочность (статические, динамические и ударные нагрузки); устойчивость к тепловым нагрузкам и термическим циклам; радиационная устойчивость.

Контейнеры для ГРО и ЖРО. В отличие от упаковки – контейнер – это *емкость*, предназначенная для сбора, и (или) транспортирования, и (или) хранения, и (или) захоронения РАО. Контейнер, используемый для формирования упаковочного комплекта и предназначенный для захоронения РАО, должен отвечать критериям приемлемости для захоронения. Как правило, контейнеры для РАО разрабатываются многоцелевыми, они могут использоваться на всех этапах обращения с РАО, в том числе и для захоронения. Виды и объем контроля зависят от типа контейнера, определяются его назначением и указаны в технической документации на контейнер [36]. Например, основными характеристиками для металлического контейнера ЖРО являются коррозионная и радиационная стойкость, геометрические размеры, характеристики механической прочности. А для железобетонного контейнера – плотность, пористость, водонепроницаемость, газопроницаемость, стойкость и устойчивость к пониженным и повышенным температурам, радиации, микроорганизмам, плесени и грибкам, пожароустойчивость, геометрические размеры.

ГРО. Обращение с ГРО в общем случае включает в себя сбор, переработку (фильтрацию, сорбцию и т.д.), выдержку (например, криогенную конденсацию) и выброс очищенных газов в атмосферу. На начальном этапе организации системы обращения с ГРО важным является радионуклидный состав ГРО, объем образующихся РАО, тип аэрозоли (пыль, дым, туман), физические, химические и другие характеристики ГРО. Эти сведения, как правило, уже имеются на стадии проектирования оборудования для ОИЯЭ, что позволяет правильно выбрать фильтры для очистки ГРО, коэффициент их очистки, производительность вентиляторов (насосов) для создания необходимой вытяжки, сечения трубопроводов и др. [65].

В процессе эксплуатации должны проводиться: периодический контроль объемной активности и радионуклидного состава потока ГРО, а также непрерывный контроль объемной активности выбросов. Для каждого источника выброса должны контролироваться и

регистрироваться параметры выброса, периодичность которого устанавливается нормативными документами, в том числе НП-021-2000 [66]: расход выбрасываемого воздуха (газа); суммарная альфа-активность радионуклидов в выбросах; суммарная активность инертных радиоактивных газов; суммарная активность йода (газовая плюс аэрозольная составляющие); суммарная активность смеси долгоживущих радионуклидов.

Очистное оборудование (фильтры, системы вытяжки, трубопроводы и др.) должны обеспечивать непрерывную и надежную очистку ГРО и выбрасывание их в атмосферу. Для обеспечения работы этого оборудования и контроля его работоспособности в соответствии с требованиями проекта должны быть предусмотрены следующие методы и средства технологического контроля параметров ГРО и оборудования:

- величина потоков ГРО (непрерывно);
- аэродинамические параметры, в том числе давление (разрежение) и сопротивление газовому потоку;
- теплотехнические параметры (температура, влажность);
- концентрация (накопление) пожароопасных, взрывоопасных и ядерно-опасных веществ;
- коэффициент очистки ГРО в очистном оборудовании.

Порядок, объем и регламент контроля ГРО и очистного оборудования определяются технической и эксплуатационной документацией.

Виды контроля. При обращении с РАО для контроля как самих характеристик РАО, так и оборудования, применяемого в этой системе, используются дистанционный контроль, контроль с помощью переносных приборов и контроль с помощью анализа проб в аналитических лабораториях.

Необходимо выделить контроль радионуклидного состава РАО, удельной (объемной) активности и суммарной активности РАО (альфа-, бета-, гамма-излучающих радионуклидов), а также массы и объема РАО. Эти характеристики представляются в отчетной документации предприятия для сбора статистической информации.

Радионуклидный состав определяется, как правило, с помощью анализа проб на спектрометрической аппаратуре. Использование в качестве детекторов ионизирующего излучения полупроводниковых детекторов в сочетании с ПС по обработке дифференциальных

энергетических спектров позволяет получать высокое энергетическое разрешение и соответственно хорошую точность измерения. Наиболее важным является идентификация радионуклидов в контейнерах перед непосредственной отправкой РАО на захоронение. Поскольку взятие пробы при этом может оказаться невозможным или является нежелательной процедурой, то радионуклидный состав можно идентифицировать дистанционно, контролируя контейнеры и сравнивая результаты контроля с сопроводительной документацией [67].

Суммарная активность устанавливается по сумме всех видов излучений РАО с помощью радиометрических измерений. Для РАО со смешанным видом излучения, как правило, используется геометрия узкого пучка и различные фильтры, позволяющие выделить измеряемый вид излучения.

Удельная объемная активность по каждому виду излучений определяется с помощью радиометрического измерения проб в аналитических лабораториях предприятий.

Определение состава РАО или идентификация отдельных радионуклидов в уже заполненных и/или закрытых упаковках или контейнерах обычно представляет собой сложную измерительную задачу. Для ее решения могут быть использованы средства томографии, различные временные и пространственные корреляционные связи между излучениями, отклики радионуклидов РАО на известные радиационные воздействия извне и т.д.

В качестве примера такого контроля можно привести установку, используемую в Юлихе (Институт радиохимии Технического университета в Мюнхене, Германия). Для идентификации РАО в 200-литровых запечатанных бочках, подготовленных для захоронения, используется сканирование бочек по вертикали по горизонтали и получение, таким образом, томографического изображения РАО в бочке. Эти измерения проводятся выборочно, чтобы подтвердить характеристики РАО, указанные в паспорте на упаковку. При расчетах используются корреляционные соотношения между различными радионуклидами, присутствующими в РАО.

Время измерения составляет от 30 мин. до 7 ч в зависимости от количества детекторов, участвующих в измерении. Используется пассивный и активный методы сканирования. Установка состоит из 32 пластмассовых детекторов, которые перемещаются по вертикали. Сама бочка вращается вокруг своей оси. В качестве спектрометрического детектора гамма-излучения используется германиевый детектор.

На этой установке довольно точно определяются кобальт-60 и цезий-137. Плутоний-239 измеряется с погрешностью не более 30 %. Порог его определения со-

ставляет 300 мг. Для калибровки установки используются специальные такие же бочки, имеющие внутри (в разных известных местах) известные радионуклиды.

В Исследовательском центре Карлсруэ (Германия) для определения делящихся материалов, а также источников нейтронов в РАО разработана система FEMOS. Чувствительность этой системы при контроле контейнеров емкостью 200 и 400 л (металлические бочки) составляет 10 мг плутония-239 при гамма-фоне до нескольких Зв/ч.

В системе FEMOS используется метод неразрушающего контроля, основанный на нейтронном мониторинге. Обработка данных, получаемых в процессе мониторинга, осуществляется с помощью системы, учитывающей корреляционные связи, как во времени, так и в пространстве TCA/LCA (Time Correlation Analysis/Local Correlation Analysis).

На первом этапе анализа идентифицируются нейтроны, излучаемые в результате (α , n) реакций и при спонтанном делении. Затем для обнаружения плутония-239 и курья-243 оценивается число нейтронов, испускаемых на одно деление. Для определения массы делящихся материалов, наряду с составом излучателей нейтронов, необходима дополнительная информация о составе матрицы материала и пространственном расположении источников нейтронов в контейнере с РАО. Система мониторинга FEMOS позволяет получить эти данные с высокой точностью.

В Селлафилде (Великобритания) радионуклидный состав бочек с прессованными РАО анализируется посредством радиографии, пассивной нейтронной и гамма- спектроскопии в реальном масштабе времени.

5.3. Контроль хранилищ РАО и ПЗРО

Виды и объем контроля технологических и эксплуатационных параметров хранилищ РАО и ПЗРО, которые определяют безопасность, зависят от их типов и характеристик РАО. В общем случае контроль радиационной обстановки в период размещения и после закрытия хранилища РАО и ПЗРО (*производственный контроль, зона строгого режима*), который осуществляется на каждом объекте, должен включать измерение ряда радиометрических и дозиметрических параметров, необходимый перечень которых приводится в нормативных и эксплуатационных документах предприятия. Ниже приведены наиболее характерные виды контроля, определяемые типом хранилища.

При эксплуатации *емкостей для хранения ЖРО* в самом общем случае должны контролироваться следующие технологические параметры [63]: температура, давление, уровень жидкости (пульпы) в емкости, а также: момент превышения верхнего уровня, протечки из емкости, толщина (высота) осадка в емкости, концентрация во-

дорода, уровень излучения в районе емкости, момент возникновения пожара и др.

Кроме того, в процессе эксплуатации должно контролироваться техническое состояние емкостей на наличие трещин, вздутий, протечек и др., а также состав поступающих на хранение ЖРО и уже размещенных в емкости РАО (жидкой фракции и осадка). Этот контроль осуществляется в соответствии с технологическим регламентом, установленным в эксплуатационной документации.

При эксплуатации *поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ*, поскольку они, как правило, не имеют специальных физических барьеров (кроме дамб), ограничивающих распространение радионуклидов в окружающую среду, в первую очередь, должны контролироваться параметры, определяющие состояние природных и искусственных барьеров и дамб, в том числе: величина фильтрационных потерь воды из заполненного объема хранилища, миграция радионуклидов в окружающую среду, радионуклидный и химический состав подземных вод и др. Эти измерения осуществляются при мониторинге окружающей среды. Важным условием безопасной эксплуатации поверхностных водоемов-хранилищ и хвостохранилищ является поддержание уровня жидкости (пульпы) в хранилище на заданном уровне.

При эксплуатации *полигонов глубинного захоронения ЖРО* (ПГЗ ЖРО) должны контролироваться [9, 63]:

- режимы работы нагнетательных и разгрузочных скважин, объем и давление нагнетания ЖРО, химический и радионуклидный состав ЖРО;

- состояние поверхностных сооружений ПГЗ ЖРО, герметичность трубопроводов, насосов и другого технологического оборудования;

- радиационная обстановка в помещениях, на участках ремонтных работ и технического обслуживания, на площадке ПГЗ ЖРО;

- техническое состояние подземных сооружений: буровых скважин, герметичность обсадных труб скважин, изоляция поглощающего горизонта, содержащего ЖРО, от поверхности и вышележащих горизонтов по затрубному и межтрубному пространствам скважин;

- пьезометрическая поверхность (положение уровней) подземных вод поглощающего и контролируемого горизонтов;

– характеристики физических полей в скважинах и на поверхности, отражающие протекание процессов захоронения.

Для подтверждения безопасности захоронения ЖРО должен проводиться мониторинг глубинного захоронения ЖРО, направленный на определение контура распространения ЖРО в геологической среде и его изменений.

При эксплуатации *хранилищ ТРО (ХТРО) и пунктов захоронения ТРО* объем и виды контроля зависят от их типа [62]. Для приповерхностных захоронений ТРО траншейного типа и захоронений неглубокого заложения в период размещения ТРО и после закрытия ПЗРО контролируется радиационная обстановка, состояние физических барьеров и покрывающего экрана.

В ПЗРО с высоким уровнем активности должны быть предусмотрены прежде всего: контроль температуры в зоне размещения РАО, содержания водорода и радионуклидов в воздухе ПЗРО и др.

5.4. Мониторинг окружающей среды

Мониторинг¹⁷ окружающей среды является важной составляющей обеспечения безопасности хранения и захоронения РАО различного уровня и для различных типов ПЗРО.

Объем радиационного мониторинга, рекомендуемый для проведения в *санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения* установлен в соответствии с [19],[61]:

- мощность дозы гамма-излучения;
- доза бета-, гамма-излучения;
- объемная активность аэрозолей атмосферного воздуха, подземных вод и вод открытого водного объекта;
- плотность радиоактивных выпадений из атмосферы;
- радионуклидный состав радиоактивных веществ в аэрозолях атмосферного воздуха, водах открытого водного объекта, подземных водах, выпадениях из атмосферы, почве, донных отложениях, растительности и кормах местного производства, гидробиотах открытого водного объекта, продуктах питания местного производства.

¹⁷ *Мониторинг* – наблюдение, оценка и прогноз состояния окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека.

Для мониторинга на территории вокруг хранилищ должны быть предусмотрены контрольно-наблюдательные скважины для отбора проб грунтовых вод. Количество и расположение наблюдательных скважин устанавливается и обосновывается в проекте ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения РАО.

Можно отметить, что в настоящее время отсутствуют нормативные документы по определению расстояния между контрольными скважинами. В [10] приведены рекомендации по расположению контрольных скважин около хранилищ ЖРО, которые можно использовать также для других типов хранилищ РАО. Так, первый створ контрольных скважин лучше устраивать на расстоянии не более 5 – 10 м от внешней кромки водоема, чтобы данные об утечке из них можно было получить как можно скорее. Расстояние между скважинами в этом створе должно быть не более 30 м. Скважины второго контрольного створа располагаются реже, чем первого створа. В общем случае расстояние между контрольными створами следует устанавливать в зависимости от возможных скоростей движения радионуклидов в местных геологических условиях. Так, при скоростях движения порядка 10 – 20 м/год расстояние между створами следует брать равным 10 – 30 м, при скоростях 40–50 м/год – 50 – 75 м. Опыт показывает, что увеличивать расстояние между створами более 100 м нецелесообразно, так как это может привести к потере контроля за движением радионуклидов.

Последующие контрольные створы следует располагать в зависимости от результатов наблюдений за первыми двумя рядами контрольных скважин, а также в зависимости от загрязнений поверхности окружающей местности радионуклидами, так как это может оказать существенное влияние на условия последующих наблюдений.

Помимо геометрии расположения контрольных скважин важным вопросом их размещения является правильное определение глубины, зависящей от гидрогеологических условий и функции, которую должна выполнять эта скважина. Для отбора проб используются скважины с внутренним диаметром не менее 150 мм. Скважины изготавливают из асбоцементных труб или из плотного и пористого бетона. Контроль загрязнения поверхностных вод осуществляют путем систематического отбора проб в наиболее характерных точках поверхностных стоков

Контроль аэрозолей производится с помощью стационарных или передвижных установок, имеющих в своем составе фильтры для накопления аэрозолей воздуха.

Концепцией государственного мониторинга геологической среды на территории России предусматривается объектовый, локальный и региональный мониторинги. Региональный мониторинг охватывает большие территории, как правило, территории отдельных природных систем (гидрогеологических структур, водосборных бассейнов). Локальный мониторинг проводится на территории, в пределах которой действует несколько природно-технических систем, оказывающих влияние на подземные воды. Для хранилища РАО и ПЗРО наибольший интерес представляет объектовый мониторинг геологической среды, поскольку он охватывает территорию отдельной природно-технической системы в пределах выделенного природопользователю (недропользователю) земельного и горного отвода и ближней зоны влияния.

Мониторинг геологической среды очень важен для хранилищ РАО или ПЗРО глубокого заложения, поскольку позволяет:

- оценить состояние подземных вод и вмещающих пород до начала сооружения;
- составить прогноз поведения подземных вод из-за вмешательства при сооружении;
- контролировать состояние природно-технической системы, включая хранилища или ПЗРО и прилегающие территории, в период их эксплуатации;
- предотвратить своевременно незапланированный выброс или сброс радионуклидов из объема хранилища или ПЗРО.

Объектами наблюдения и контроля при этом являются: массив вмещающих горных пород, камеры захоронения РАО, водоносный горизонт, "омывающий" и вмещающий массивы горных пород, выщелачивающий "буферный" горизонт, участки геологического разлома и др. Пробы из наблюдательных скважин подвергаются химическим, радиохимическим и геофизическим исследованиям (термометрия, расходометрия, резистивометрия, радиометрия). Более подробно с вопросами геологического мониторинга хранилищ РАО можно ознакомиться в [13].

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Перечислите виды контроля, которые осуществляются при обращении с РАО на объектах ИАЭ?
2. Дайте характеристику каждого из видов контроля.
3. Какие характеристики РАО и хранилищ необходимо контролировать при хранении жидких отходов?
4. Объем каких видов контроля является наибольшим и почему?
5. В чем преимущество неразрушающих методов контроля перед разрушающими?
6. Для чего необходим мониторинг окружающей среды в зоне влияния ПЗРО?

Часть II. РЕГУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

Глава 6. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

6.1. Ростехнадзор - орган государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии

Немного истории. В 1991 г. распоряжением Президента Российской Федерации № 137-рп был образован Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор России) как *независимый* орган, осуществляющий государственное регулирование ядерной и радиационной безопасности при производстве и использовании атомной энергии всех предприятий РФ (АЭС, ПЯТЦ, предприятий народного хозяйства) [5]. В основу деятельности Госатомнадзора России была положена политика государственного регулирования безопасности, проверенная международной практикой и включающая три основные составляющие:

- *лицензирование* деятельности в области ИАЭ;
- *нормативно-правовое регулирование* безопасности при ИАЭ;
- *государственный надзор* за ядерной и радиационной безопасностью объектов ИАЭ, включая надзор за учетом и контролем ядерных материалов и их физической защитой.

Для реализации задач лицензирования в полном объеме, а также государственного надзора в тот момент отсутствовало необходимое законодательство и, кроме того, не было достаточного опыта по проведению процедур лицензирования и сопровождения выданных лицензий. Следует также учесть, что в то время государственный надзор вводился на предприятиях и объектах, не состоявшим ранее под таким надзором.

Пока происходила наработка необходимого объема нормативной документации, было принято решение выдавать *временные разрешения* на право осуществления определенных видов деятель-

ности (1992 – 1997 гг.). С 1997 г. Госатомнадзор России перешел на выдачу лицензий в соответствии с [5],[68].

В марте 1992 г. был разработан и опубликован стратегический документ [5],[69], в котором изложены главные направления реализации государственной политики в области регулирования ядерной и радиационной безопасности, а также определены цель и функции государственного регулирования.

В это же время Президент РФ утвердил Положение о Госатомнадзоре России, определившее его задачи, функции и права. Вступление в силу в 1995 г. ФЗ «Об использовании атомной энергии», определило основные задачи правового регулирования и потребовало приведения в соответствие с его положениями нормативных правовых актов РФ, действующих в области ИАЭ. Постановлением Правительства РФ от 22 апреля 2002 г. № 265 было утверждено новое Положение о Госатомнадзоре России.

В 2004 г. с целью сокращения числа надзорных органов в стране произошло слияние Федеральной службы по атомному надзору (Госатомнадзора) и Федеральной службы по технологическому надзору с образованием одного надзорного органа: Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) [70].

Структура и функции Ростехнадзора по регулированию безопасности на объектах ИАЭ. В настоящее время Ростехнадзор состоит из центрального аппарата, межрегиональных территориальных управлений (МТУ) и подведомственных организаций.

В структуре центрального аппарата, занимающегося вопросами регулирования и надзором на объектах ИАЭ, имеются три управления:

- Управление по регулированию безопасности атомных станций и исследовательских ядерных установок;
- Управление по регулированию безопасности объектов ядерного топливного цикла, ядерных энергетических установок судов и радиационно опасных объектов, надзору за учетом и контролем ядерных материалов и радиоактивных веществ и их физической защитой;
- Управление обеспечения организационно-контрольной и лицензионно-разрешительной деятельности.

Для осуществления функций государственного регулирования ИАЭ на всей территории России в составе Ростехнадзора образованы семь Межрегиональных территориальных управлений по надзору за ядерной и радиационной безопасностью: Центральное, Северо-Европейское, Донское, Волжское, Уральское, Сибирское и Дальневосточное МТУ.

В составе подведомственных организаций Ростехнадзора Федеральное государственное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ)» осуществляет научную и методическую поддержку в части: организации и участия в разработке норм и правил, обеспечивающих регулирование ядерной и радиационной безопасности, проведения экспертиз безопасности, научных исследований для обоснования критериев и принципов ядерной и радиационной безопасности и обоснования оценок безопасности объектов ИАЭ.

Функции бывшего Госатомнадзора при вхождении его в Ростехнадзор и определенные ФЗ [2] не изменились.

В 2007 г. в соответствии с ФЗ [71] была образована Госкорпорация «Росатом», в которую вошли ОАО «Атомный энергопромышленный комплекс», организации ядерного комплекса, организации, обеспечивающие ядерную и радиационную безопасность и осуществляющие фундаментальные исследования в области использования атомной энергии, научные образовательные учреждения. Одновременно с принятием этого закона были внесены изменения в ФЗ "Об использовании атомной энергии" [2], согласно которым *государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии предусматривает деятельность соответствующих федеральных органов исполнительной власти и Госкорпорации «Росатом»¹⁸*. Это положение (ст. 23)], нарушает независимость регулирующих функций Ростехнадзора в части объектов ИАЭ и противоречит положениям Объединенной конвенции [4],[72].

¹⁸ Руководство деятельностью Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) Указом Президента РФ 23.10. 2010 г. № 780 осуществляет Правительство РФ.

6.2. Лицензирование – основная функция Ростехнадзора

Лицензирование является основной функцией государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности, поскольку в процессе лицензирования осуществляется всестороннее изучение способности эксплуатирующей организации обеспечить безопасность заявленного вида деятельности в соответствии с Постановлением Правительства от 14.06.1997 №865 [68]. Это изучение включает не только проверку документов, подтверждающих соответствие требованиям нормативных документов, но и постоянный инспекционный надзор, а также оперативные (целевые) и комплексные проверки реального положения дел с обеспечением безопасности на местах.

Перечень видов деятельности в области ИАЭ, для осуществления которых требуется получение лицензий, порядок выдачи и прекращения действия лицензий устанавливаются Правительством Российской Федерации. Порядок исполнения государственной функции по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии изложен в Административном регламенте исполнения Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной функции по лицензированию деятельности в области ИАЭ (далее – Административный регламент) [73], требования которого составлены в соответствии с [68].

Ниже приведены основные этапы лицензирования деятельности в области обращения с РАО.

Согласно Административному регламенту для получения лицензии Заявитель должен представить в Ростехнадзор:

- а) заявление о выдаче лицензии с указанием наименования, организационно-правовой формы, юридического адреса, номера расчетного счета и соответствующего банка, вида деятельности и объекта ее применения, а также срока действия лицензии;
- б) копии учредительных документов или оригиналы документов;
- в) копию свидетельства о государственной регистрации;
- г) справку налогового органа о постановке на учет;
- д) копию документа, подтверждающего право Заявителя владеть или пользоваться ядерными установками, радиационными источ-

никами, пунктами хранения ядерных материалов, радиоактивными веществами и РАО;

е) копии решений по вопросам размещения, сооружения или вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников или пунктов хранения, принятых соответствующими федеральными органами исполнительной власти, органами государственной власти субъектов РФ или органами местного самоуправления;

ж) комплект документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности ядерной установки, радиационного источника, пункта хранения РАО и/или заявленной деятельности (требования к составу комплекта документов определены Ростехнадзором и приведены в приложении 4 к Административному регламенту);

з) документ, подтверждающий оплату рассмотрения заявления о выдаче лицензии.

В случае, если Заявителем выступает эксплуатирующая организация кроме документов, указанных выше, должны быть также представлены:

а) документ, подтверждающий признание соответствующим органом управления ИАЭ пригодности заявителя эксплуатировать ядерную установку, пункт хранения и осуществлять собственными силами или с привлечением других организаций деятельность по размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации пункта хранения РАО, а также деятельность по обращению с радиоактивными веществами;

б) документ, определяющий отнесение объекта, на котором и/или в отношении которого должна проводиться заявленная деятельность, к категориям, предусмотренным ст.3 [2];

в) заключение государственной экологической экспертизы [74];

г) копию санитарного паспорта или иного разрешительного документа органов санитарно - эпидемиологического надзора на право работ с радиационными источниками [18];

д) документы, подтверждающие наличие у Заявителя, предусмотренного законодательством РФ финансового обеспечения гражданско-правовой ответственности за убытки и вред, причиненные радиационным воздействием;

е) документ, подтверждающий возможность последующей передачи на захоронение образующихся или находящихся на временном хранении РАО;

ж) отчет по противопожарной защите объекта ИАЭ при его эксплуатации;

з) документы, подтверждающие наличие у Заявителя источников финансирования работ по выводу из эксплуатации пунктов хранения, включая специальный фонд для финансирования затрат, связанных с выводом из эксплуатации указанных объектов, и для финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по обоснованию и повышению безопасности этих объектов.

После принятия к рассмотрению документов, представленных для получения лицензии, Ростехнадзор проводит проверку их соответствия установленным требованиям, достоверности изложенной в них информации и анализ комплекта документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности ядерной установки, радиационного источника, пункта хранения и/или заявленной деятельности, при этом Ростехнадзор обязательно анализирует:

а) соответствие проектных, конструкторских и технологических решений ФНП в области ИАЭ, квалификации работников установленным требованиям и наличие условий для ее поддержания на необходимом уровне, а также наличие и соответствие установленным требованиям системы сбора, хранения, переработки и захоронения РАО при осуществлении заявленной деятельности;

б) полноту мер технического и организационного характера по обеспечению ядерной и радиационной безопасности при осуществлении заявленной деятельности;

в) наличие соответствующих условий хранения и организации учета и контроля ядерных материалов и радиоактивных веществ, обеспечение физической защиты радиационных источников, пунктов хранения РАО, планов мероприятий по защите работников объекта ИАЭ и населения в случае возникновения аварии и готовность к их выполнению, а также системы обеспечения качества и необходимой инженерно-технической поддержки заявленной деятельности;

г) способность Заявителя обеспечить условия безопасного прекращения заявленной деятельности и вывод объектов ИАЭ из эксплуатации, а также наличие соответствующих проектных материалов.

Порядок проведения проверок достоверности сведений, содержащихся в документах, представленных для получения лицензии, проведения экспертизы документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности ядерной установки, радиационного источника, пункта хранения и/или заявленной деятельности, и инспекций устанавливается Административным регламентом.

Ростехнадзор осуществляет государственный надзор за соблюдением Заявителем условий, предусмотренных лицензией, и в случае их невыполнения применяет санкции, установленные законодательством РФ. Более подробно задачи и функции государственного надзора и его осуществление рассмотрены в разд. 6.4.

Структура лицензии предусматривает наличие в ее составе раздела: «Условия действия лицензии (УДЛ)». Этот раздел документа сыграл значительную роль в период становления лицензионной деятельности. В период выдачи временных разрешений (1992-1997гг.) требования по безопасности включались в УДЛ. В настоящее время УДЛ играют существенную роль для ряда положений по обеспечению ядерной и радиационной безопасности хранилищ РАО, сооруженных в 50-70 г. прошлого столетия, так как приведение их безопасности к надлежащему уровню требует времени и значительных финансовых затрат.

Кроме того, УДЛ – это важнейший механизм обратной связи между регулирующим органом и эксплуатирующей организацией (Заявителем).

В Ростехнадзоре в 2008 г. введен в действие документ: «Методические указания по формированию условий действия лицензий на виды деятельности в области использования атомной энергии» [75], который определяет общий подход к формированию УДЛ на виды деятельности в области использования атомной энергии, выдаваемых Ростехнадзором. Этот документ дает общие указания по формированию и внесению изменений в УДЛ, а также определяет структуру и содержание УДЛ, в том числе информацию об области

действия лицензии, а также общие и специальные требования и условия. В [75] приведены примеры составления УДЛ для ряда объектов ИАЭ.

6.3. Лицензирование видов деятельности на различных этапах жизненного цикла хранилища РАО

На рис. 6.1 представлена схема жизненного цикла ПЗРО и сопровождение всей деятельности его со стороны Ростехнадзора.

Проект ПЗРО создается после проведения изыскательских работ по выбору места его размещения и с учетом характеристик РАО, предполагаемых для размещения в хранилище. Выбор площадки для размещения ПЗРО также определяется категорией и характеристиками РАО и назначением ПЗРО (временное хранение или захоронение РАО). Поэтому начальным этапом жизненного цикла ПЗРО, и любого другого промышленного объекта, как впрочем, можно считать – размещение. Хотя выбор площадки для ПЗРО производится, исходя из основных характеристик РАО и особенностей его проекта. Эти этапы в начальный период идут параллельно. Но когда площадка выбрана, проектирование ПЗРО идет более активно с учетом создания физической защиты, инфраструктуры и прочее.

Проектирование. На этом этапе жизненного цикла ПЗРО закладываются основные концептуальные решения, влияющие на обеспечение его безопасности. Проектирование осуществляется организацией, имеющей лицензию Ростехнадзора на проектирование и конструирование ПЗРО. Проектные организации, как правило, специализируются на проектировании определенного вида объектов ИАЭ и имеют в этой области большой опыт.

Концепция проекта и его основные решения проходят широкое обсуждение на научно-технических советах Ростехнадзора и проектной организации. Проект изучается экспертами и получает оценку в виде заключений государственной экологической экспертизы, санитарно – эпидемиологического заключения ФМБА. В соответствии с положениями ФЗ [3],[74] проект может проходить общественную экспертизу. Как правило, общественная экспертиза проекта проводится *для вновь создаваемого ПЗРО* (не в пределах существующего объекта ИАЭ).

Проект также обсуждается с органами местной власти, на территории которой предполагается разместить ПЗРО.

Размещение. Проект объекта ИАЭ создается с привязкой к месту его сооружения. Эксплуатирующая организация должна получить лицензию Ростехнадзора на право размещения объекта ИАЭ на выбранном (предполагаемом) участке земли. На этом этапе происходит полное ознакомление Ростехнадзора с проектом и заключениями различных государственных и общественных организаций, полученных на реализацию проекта объекта ИАЭ в данном месте.

Для получения лицензии на размещение Заявитель (как правило, эксплуатирующая организация) представляет вместе с заявлением полный комплект документов, перечень которых приведен в [73].

Особенности правил принятия решений о размещении и сооружении ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения определены в [76]. Здесь введены некоторые важные дополнительные процедуры при принятии решения о размещении и сооружении, связанные с получением разрешения на использование земельного участка и порядком подготовки проекта для получения инвестиций на строительство. Здесь же устанавливаются различные уровни согласования решения о размещении и сооружении объектов, находящихся в федеральной собственности, либо имеющих федеральное или межрегиональное значение, и объектов, имеющих региональное или местное значение.

Комплект и содержание документов, обосновывающих обеспечение безопасности деятельности нового ПЗРО, как в случае получения отдельной лицензии на сооружение, так и случае получения лицензии в рамках уже действующей лицензии – одинаков.

Сооружение ПЗРО начинается после получения лицензии на сооружение объекта ИАЭ. В сооружении могут участвовать строительные и монтажные организации, которые также имеют соответствующие лицензии Ростехнадзора на право ведения строительных и монтажных работ. Оборудование, которое должно поступать на сооружаемый объект, должно быть сертифицировано. Предприятия, конструирующие и изготавливающие это оборудование, должны иметь соответствующие лицензии Ростехнадзора, в том числе лицензии на конструирование и изготовление оборудования для ПЗРО.

Контроль за исполнением УДЛ, технических решений проекта, связанных с обеспечением безопасности объекта, поставкой надлежащего оборудования, качеством строительно-монтажных работ и т.д. производится инспекторами МТУ.

При выявлении на любом из этапов сооружения ПЗРО дополнительных факторов, приводящих к снижению уровня безопасности ПЗРО, ухудшению состояния окружающей среды или влекущих иные неблагоприятные последствия, Ростехнадзор может выдать Предписание эксплуатирующей организации с требованием устранения замеченных недостатков, приостановить сооружение объекта до устранения замечаний или отозвать лицензию, отменив, таким образом, разрешение на сооружение ПЗРО.

Эксплуатация. После сооружения ПЗРО эксплуатирующая организация начинает свою деятельность на основании лицензии на эксплуатацию стационарного объекта. При эксплуатации ПЗРО происходит его заполнение до объема, определенного проектом. При этом прием РАО возможен только от организаций, имеющих соответствующие лицензии на обращение с РАО, полученные от Ростехнадзора.

Если в процессе эксплуатации необходима замена какого-либо оборудования, его модернизация или ремонт, то об этом должен быть поставлен в известность Ростехнадзор.

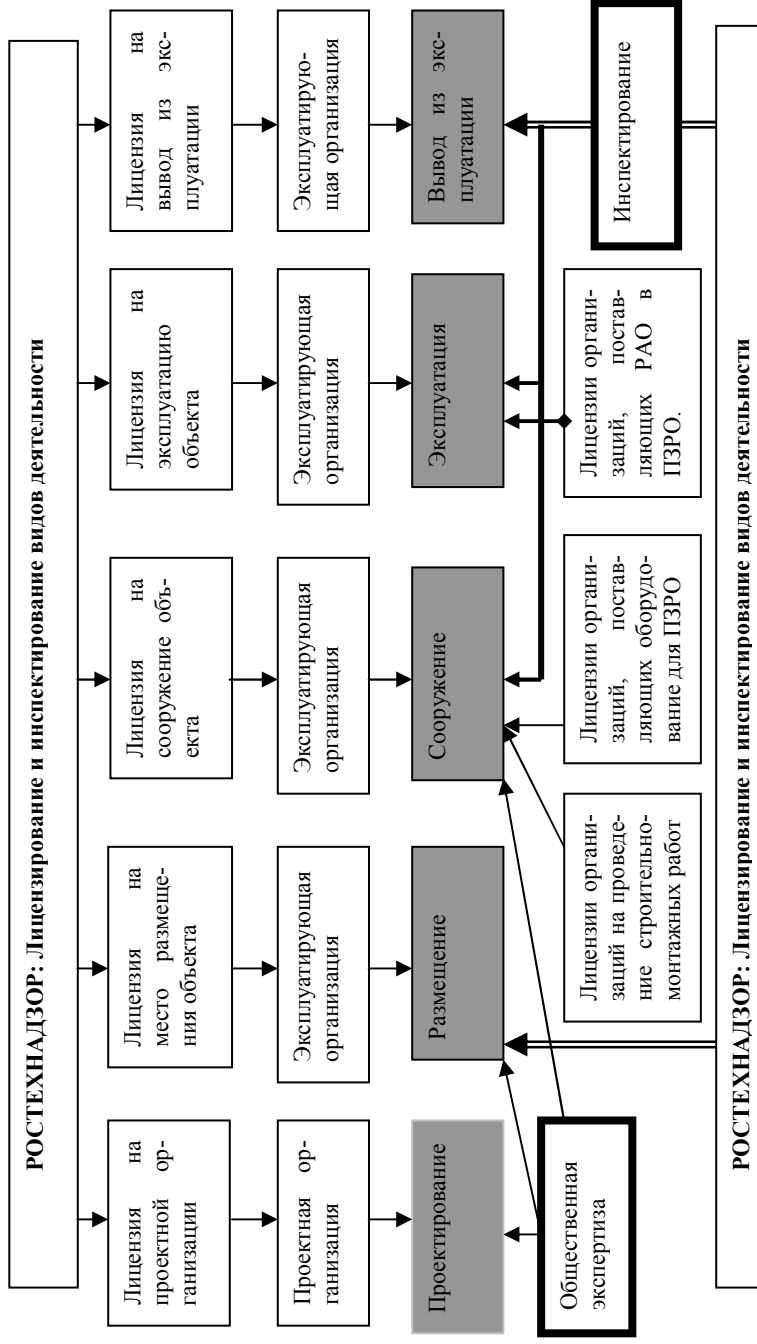


Рис 6.1. Этапы лицензирования жизненного цикла пункта захоронения РАО

Важным вопросом эксплуатации ПЗРО является подбор квалифицированных кадров, их обучение и контроль их знаний. Весь руководящий состав ПЗРО периодически проходит проверку знаний в Ростехнадзоре по вопросам обеспечения ядерной и радиационной безопасности. По результатам положительной сдачи экзаменов Ростехнадзор выдает руководству ПЗРО разрешение на право руководства деятельностью на объекте ИАЭ. В свою очередь, аттестованный руководящий персонал предприятия осуществляет периодический контроль знаний и обязанностей работников предприятия в области обеспечения безопасности на своих рабочих местах. Кроме того, инспектора региональных инспекций также наделены правами проверки знаний в области безопасности сотрудников inspectируемых предприятий.

Вывод из эксплуатации ПЗРО. Уже на стадии проектирования объекта ИАЭ закладываются основные идеи и решения по выводу из эксплуатации. Проект по выводу из эксплуатации ПЗРО проходит такие же стадии согласования и подвергается таким же экспертизам, что проект по созданию самого объекта. Поскольку вывод из эксплуатации может быть связан с образованием большого объема РАО разного вида, то вопросам радиационной и экологической безопасности в таком проекте должно быть уделено особое внимание.

6.4. Государственный надзор

Государственный надзор за обеспечением надлежащего уровня ядерной и радиационной безопасности на объекте ИАЭ означает не только наблюдение и контроль, но и принятие соответствующих мер при выявлении отклонений от требований нормативных документов.

В настоящее время надзор, осуществляемый в рамках регулирования безопасности, включает в себя следующие мероприятия:

- получение, рассмотрение и анализ информации о состоянии безопасности объекта ИАЭ и качестве ведения работ;
- проведение инспекций деятельности эксплуатирующих организаций;
- проведения инспекций состояния объектов, систем и оборудования;

- участие в проверке знаний руководителей и работников эксплуатирующих и иных организаций;
- применение санкций, предусмотренных законодательством и направленных на предупреждение нарушений требований к обеспечению безопасности.

Сопровождение выданной лицензии осуществляется соответствующим МТУ Ростехнадзора путем проведения *плановых и внеплановых инспекций* с целью проверки выполнения УДЛ. В зависимости от целей и объема проводимых проверок эти инспекции могут быть комплексными, целевыми или оперативными.

Комплексные инспекции предусматривают проверку деятельности организации (ряда организаций) по всему (или большей части) комплексу вопросов обеспечения безопасности. Они организуются и проводятся, как правило, центральным аппаратом Ростехнадзора один раз в 4-5 лет.

Целевые инспекции предусматривают детальную проверку одного или нескольких вопросов обеспечения безопасности. Могут проводиться как комиссиями, так и инспекторами Ростехнадзора его МТУ. Примером такой инспекции может быть обеспечение безопасности обращения с РАО на ПЯТЦ.

Оперативные инспекции предусматривают детальную проверку соблюдения требований к обеспечению безопасности на рабочих местах, в подразделениях организаций и объектов для оперативного принятия мер по устранению возможных недостатков. Организуются и проводятся инспекторами или группой инспекторов МТУ Ростехнадзора.

Плановые инспекции проводятся в соответствии с годовым планом работы, но не реже одного раза в год при выполнении лицензиатом ядерных и радиационно опасных работ. Комплексные и целевые инспекции, как правило, являются плановыми инспекциями.

Внеплановые инспекции проводятся в следующих случаях:

- при контроле исполнения предписаний об устранении выявленных нарушений в результате плановой инспекции;
- при возникновении происшествий и аварий на объекте, в отношении которого проводится заявленная деятельность;
- при получении информации от физических лиц о нарушениях порядка проведения технического расследования причин происшествий, аварий и инцидентов на объекте;

– при получении информации от юридических или физических лиц о представлении лицензиатом заведомо ложных сведений о состоянии безопасности объекта, в отношении которого проводится заявленная деятельность.

В состав комиссий для проведения инспекций кроме специалистов и инспекторов центрального аппарата Ростехнадзора могут входить также специалисты других государственных ведомств (Госкорпорации «Росатом», Минздравсоцразвития России, МВД и др.) и местной государственной власти.

По результатам инспекции составляется акт. В случае выявления административного правонарушения составляется протокол в порядке, установленном законодательством РФ об административных правонарушениях, и выдаются Предписания об устранении выявленных нарушений, в которых излагается содержание нарушений со ссылкой на соответствующие требования нормативных документов.

На основе анализа результатов надзорной деятельности за соблюдением федеральных норм и правил на объекте ИАЭ и УДЛ посредством проведения *плановых и внеплановых инспекций* при осуществлении им лицензированной деятельности, а также исходя из характера выявленных нарушений требований по ядерной и радиационной безопасности, причин отказов и нарушений в работе оборудования и систем объекта ИАЭ, результатов расследования аварий, ответственным подразделением может быть подготовлен проект решения о приостановлении действия лицензии или ее аннулировании. Порядок приостановления (аннулирования) действия лицензии приведен в [73].

В случае приостановления деятельности объекта ИАЭ по требованию Ростехнадзора или в результате аварии ответственность за обеспечение безопасности на объекте лежит на эксплуатирующей организации и прежде всего на руководителе предприятия.

Результаты работы инспекций используются для принятия решений по лицензированию деятельности, применений санкций в случае выявления нарушений и требований по безопасности, корректировке нормативной базы, разработке новых требований и руководств по безопасности и др.

6.5. Нормативное регулирование

Немного истории. Надзор и лицензирование невозможны без наличия законодательной и нормативной базы, на соответствие положений (требований) которой осуществляется выдача лицензий на виды деятельности при обращении с РАО или/и деятельности, связанной с обращением с РАО.

История развития и создания современной нормативной базы по регулированию ядерной и радиационной безопасности довольно подробно представлена в книге Госатомнадзора России [5]. Ниже изложены особенности формирования системы нормативной документации для регулирования безопасности при обращении с РАО.

Действовавшая в РФ до конца прошлого столетия нормативная база в области обращения с РАО создавалась на основе законодательства бывшего СССР в соответствии с имевшимися в 50-60-е годы подходами к обеспечению безопасности. Сложность использования этих нормативных документов обуславливалось следующим рядом взаимосвязанных причин:

- документы разрабатывались различными ведомствами и организациями независимо друг от друга и часто представляли собой ведомственные инструкции¹⁹;
- часто дублировались, либо противоречили друг другу;
- неоправданно большое количество нормативных документов затрудняло их применение.

Большинство документов к моменту создания Госатомнадзора России, как независимого органа регулирования ядерной и радиационной безопасности, устарели и требовали переработки, поскольку они не в полной мере соответствовали Федеральному закону [2] и ряду важных принципов обеспечения безопасности, принятых в последние годы международным сообществом, изложенных в гл. 2 и 3. Это потребовало создания современной системы нормативного регулирования безопасности при обращении с РАО, создания совокупности научных, технических и организационных принципов, критериев и требований обеспечения безопасности при

¹⁹ Всего действовало более 70 нормативных документов, регламентирующих различные этапы обращения с РАО.

обращении с РАО, отвечающих действующему законодательству РФ, состоянию науки и техники, современному мировоззрению на безопасность. Проведенный анализ рекомендаций международных организаций и нормативных документов зарубежных стран показал, что они могут быть использованы в РФ только после их существенной модификации в соответствии с отечественным законодательством и накопленным практическим опытом обращения с РАО.

В 1996 г. Госатомнадзор России совместно с другими ведомствами и организациями приступил к выполнению работ по созданию современной системы нормативного регулирования безопасности в рамках ФЦП «Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996 – 2005 годы».

При создании системы нормативных документов ставились следующие задачи:

- создать оптимальную структуру системы нормативных документов в РФ;
- исключить возможность возникновения внутренней противоречивости отдельных нормативных документов системы или неоднозначность устанавливаемых в них требований;
- обеспечить эффективность регулирования безопасности при обращении с РАО в РФ с использованием системы нормативных документов;

Для определения комплекса нормативных документов по обращению с РАО в РФ была использована методология системного подхода [28]. Сущность этого подхода состоит в следующем.

Система обращения с РАО в России, со всем многообразием источников их образования РАО, видов накопленных и образующихся РАО и видов деятельности с ними, достаточно сложна для анализа. Поэтому система нормативных документов была разбита на функциональные подсистемы, ориентированные на источники образования РАО, подсистемы – по видам РАО и элементы – по способам обращения с РАО. Функциональные подсистемы – группы объектов, на которых образуются РАО – фактически соответствуют разделению основных предприятий атомной промышленности по их производственному принципу. Подсистемы по видам РАО и способы обращения с РАО на примере производств ядерного топлива и ядерно-химического комплекса, приведены в приложении 2.

Анализ способов обращения с РАО показал, что для разных функциональных подсистем они – одинаковы. Это позволило перейти от словесного описания проблемы создания системы нормативных документов к формальному – созданию концептуальной модели системы обращения с РАО, обобщающей все возможные виды обращения с РАО на всех производствах (рис. 6.2). На основании этой формализованной модели была разработана иерархическая система нормативных документов (рис 6.3). При этом учитывался ряд принципов, предполагающих системный подход к формированию нормативных документов, которые определяют не только комплекс технических требований по обеспечению безопасности, но и единообразие этих требований для различных производств.

В 1998 г. Госатомнадзором России был введен в действие документ [77], в котором были представлены основные принципы по формированию структуры системы нормативных документов, структура и классификация нормативных документов, а также основные требования к их содержанию.

Принцип 1. Полнота системы нормативных документов.

Соблюдение этого принципа при формировании системы нормативных документов предусматривает учет всех уровней принятия решений по обеспечению безопасности, всех объектов безопасности, всех источников образования и видов РАО и отработавших ядерных материалов, всех этапов обращения с ними и всех этапов жизненного цикла объектов обращения с РАО.

Принцип 2. Достаточность системы нормативных документов.

Соблюдение этого принципа предполагает, что система имеет необходимый и достаточный набор нормативных документов для настоящей и будущей практики обеспечения безопасности при обращении с РАО и предусматривает создание классификатора, определяющего комплекс нормативных документов, необходимых для обеспечения безопасности при обращении с РАО.

Принцип 3. Иерархичность системы нормативных документов.

Все документы должны быть распределены по уровням значимости от документов общего плана к документам, конкретизирующим этапы обращения с РАО.

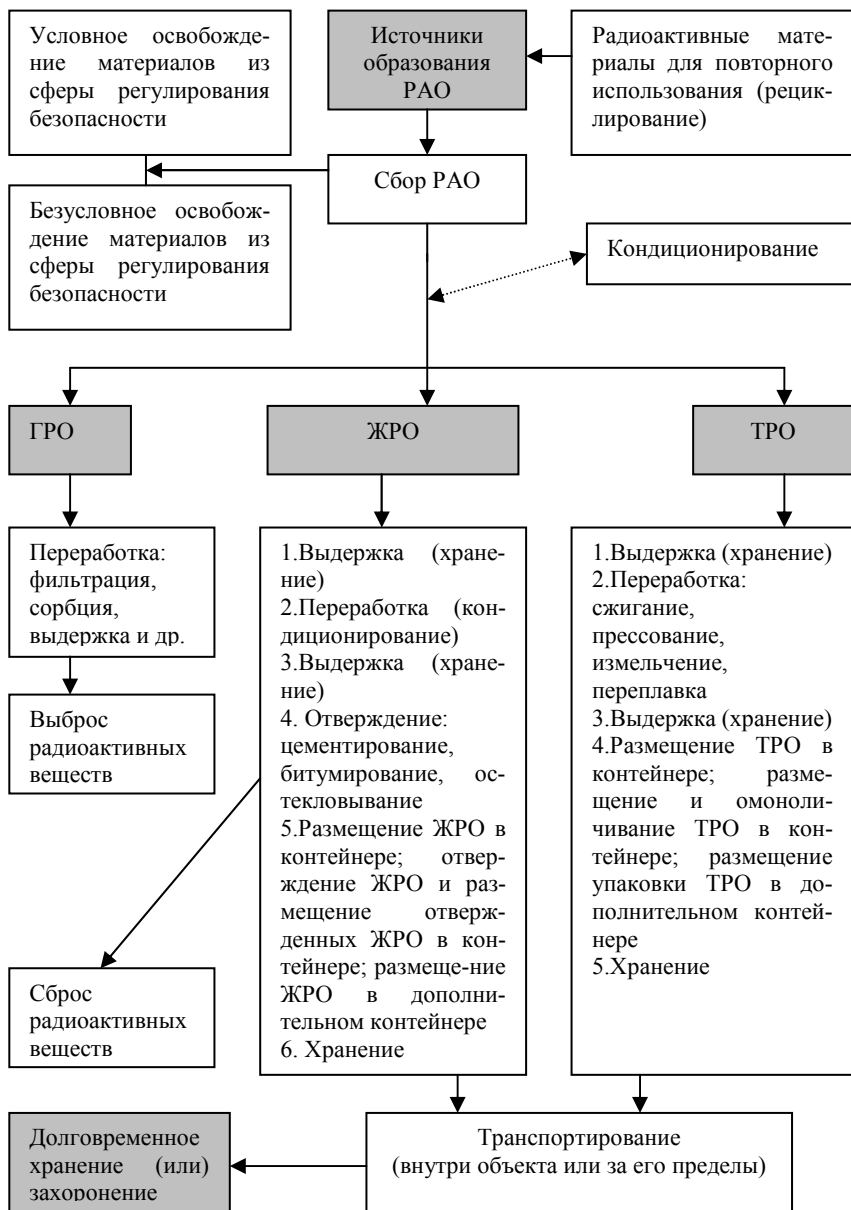


Рис. 6.2. Концептуальная модель системы безопасности обращения с РАО

Принцип 4. Равнозначность требований в системе нормативных документов.

Соблюдение этого принципа требует равнозначности нормативных документов, относящихся к одному иерархическому уровню, а также обязательности исполнения всех требований в нормативных документах системы.

Принцип 5. Аддитивность нормативных документов в системе.

Соблюдение этого принципа означает взаимную согласованность, непротиворечивость и упорядоченность по содержанию всех документов, а также открытости системы для вновь вводимых требований и корректировки действующих требований. Если в разных документах имеются одинаковые требования, то они не должны противоречить друг другу, а, в крайнем случае, дополнять друг друга.

Принцип 6. Единство терминологии.

Соблюдение этого принципа обеспечивает использование единой терминологии разработчиками и пользователями системы нормативных документов. Соблюдение этого принципа требует применения каждого термина с одним определением в рамках системы нормативных документов.

Принцип 7. Интегративность системы нормативных документов с существующими системами нормативных документов.

Соблюдение этого принципа требует обеспечения взаимосвязи данной системы нормативных документов с системами нормативных документов в области использования атомной энергии, обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и охраны окружающей природной среды.

Система нормативных документов по безопасности обращения с РАО. Для представления места ФНП в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, а в будущем и Технических регламентов, приведем общую иерархическую цепочку системы нормативных документов, существующую в настоящее время в РФ:

- Конституция;
- Международные договоры и Федеральные законы;
- Указы Президента и Постановления Правительства;
- Технические регламенты;
- Федеральные нормы и правила области ИАЭ;

Административные регламенты;
Руководящие документы;
Руководства по обеспечению безопасности;
Национальные стандарты, стандарты ведомств и предприятий (ОСТ, СТП), своды правил (СанПиН и др.).

Для понимания различий в статусе вышеперечисленных нормативных документов, приведем их определения (понятия) в сокращенном виде.

Технические регламенты – содержат обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции и объектам на всех этапах их жизненного цикла, выпускаемой или используемой атомной отраслью).

Федеральные нормы и правила (ФНП) – содержат обязательные для применения и исполнения всех специалистов требования к объектам ИАЭ и видам деятельности.

Административные регламенты – определяют порядок выполнения государственных функций по регулированию ядерной и радиационной безопасности объектов ИАЭ (обязательные для специалистов органа регулирования).

Руководящие документы (РД) – конкретизируют порядок выполнения государственного регулирования.

Руководства по обеспечению безопасности (РБ) – устанавливают обязательные требования к деятельности, связанной с эксплуатацией объектов ИАЭ. В качестве руководств по обеспечению безопасности могут применяться общепромышленные правила, СНиПы, ГОСТы, ОСТы и т.д.

Группа из первых четырех видов документов представляет собой нормативно-правовые акты РФ. Причем положения международных договоров имеют приоритет перед Федеральными законами РФ. В настоящее время не существует ни одного Технического регламента, относящегося к обеспечению безопасности при обращении с РАО. Более того, в соответствии с положениями ФЗ [78], до разработки соответствующих Технических регламентов, сохраняется обязательность требований ФНП в области ИАЭ, разработанных и утвержденных ранее.

Следующая группа документов представляет собой нормативные документы Ростехнадзора и Минздравсоцразвития России.

Последние два вида документов носит рекомендательный характер. Однако, если требования документа этого уровня, использованы в качестве требований в Техническом регламенте, то эти требования приобретают статус обязательных в рамках данного регламента.

Развитие системы нормативных документов. В разделе, посвященном нормативной документации, целесообразно остановиться на вопросах возможного развития системы нормативных документов в области обращения с РАО в ближайшем будущем [1], [22],[77],[79][82].

1. Основной проблемой при разработке нормативных документов в настоящее время является нормативное регулирование безопасности при обращении с РАО, *накопленными* в результате предыдущей деятельности.

В отношении *образующихся* в настоящее время РАО могут быть последовательно реализованы все этапы безопасного обращения с РАО в соответствии с требованиями, изложенными в разработанной системе нормативных документов. Однако для РАО, *накопленных* в результате предыдущей деятельности, такой подход осуществим ограниченно. В большинстве случаев на указанных объектах накоплено большое количество РАО, а сами хранилища либо не имеют требуемой, с точки зрения современных представлений о безопасности, системы физических барьеров на пути возможного распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ, либо существующая система физических барьеров не надежна и не достаточно совершенна.

Нормативное регулирование эксплуатации и вывода из эксплуатации этих хранилищ РАО осуществляется в настоящее время с помощью документов ведомственного уровня, которые, как правило, не отражают подходов к обеспечению безопасности при решении проблем реабилитации территорий в свете современных требований, установленных законодательством РФ, международными правовыми документами и рекомендациями международных организаций. ФНП, устанавливающие требования к обеспечению безопасности при реабилитации таких территорий, включая обращение с РАО на них, не разработаны. Да и необходимо ли это? Ведь сам факт установления ФНП, регламентирующих обеспечение безо-

пасности указанных хранилищ РАО, по существу, приведет к легализации не легализуемого, что вряд ли целесообразно.

Из зарубежного опыта (США) видно, что при регулировании безопасности обращения с РАО, накопленных в результате предыдущей деятельности и реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами, используется *программно-целевой метод*, который основывается на разработке и последовательной реализации стратегии и специальных программ.

Действующая в настоящее время ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» построена по программно-целевому принципу, а в современном законодательстве РФ установлены основополагающие правовые положения, позволяющие определить общую стратегию обращения с хранилищами РАО «наследия прошлого» и определить ряд основных задач обеспечения безопасности и регулирования безопасности рассматриваемых хранилищ РАО. Кроме того, в проекте ФЗ *«Об обращении с радиоактивными отходами»* намечены мероприятия по совершенствованию нормативной базы в области обращения с РАО, в том числе в отношении накопленных РАО.

2. Отношение к проблеме обращения с ОЯТ в России в зарубежных странах постоянно меняется. Это связано с тем, что политика некоторых стран относительно замкнутого топливного цикла изменилась, а ряде случаев изменилось и отношение к атомной энергетике в целом. Особенно это проявилось после Чернобыльской аварии.

Напомним. Замкнутый топливный цикл предполагает переработку ОЯТ на РХП с целью повторного извлечения урана-235, а также плутония-239 и использование их в качестве топлива для дальнейшего сжигания в атомных реакторах (Германия до конца прошлого столетия, Франция, Великобритания, Япония). Разомкнутый топливный цикл предполагает отнесение ОЯТ к РАО без какой-либо переработки, захоранивая ОЯТ как ВАО, в глубокие геологические формации.

Объединенная конвенция [4] проблему обращения с РАО и ОЯТ рассматривает в одной плоскости. И это не случайно, поскольку обращение с ОЯТ аналогично обращению с ВАО.

В настоящее время в РФ разрабатываются вопросы нормативного регулирования при различных вариантах обращения с ОЯТ и

намечаются мероприятия для решения этой проблемы. Разработан проект Концепции ФЗ *«Об обращении с отработавшим ядерным топливом»*

3. При выводе из эксплуатации любых объектов ИАЭ образуются РАО. При этом обращение с РАО характеризуется спецификой каждой категории объекта ИАЭ. Необходима разработка целого спектра нормативных документов, регламентирующих вопросы безопасного обращения с РАО при выводе из эксплуатации объектов ИАЭ и реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами. Органами государственной власти для этой цели разработана Концепция *«О выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии»*.

4. Хотя статьей 5 ФЗ [78] сохраняется обязательность требований ФНП в области ИАЭ, но наряду с требованиями технических регламентов, которые будут разработаны для этих целей.

6.6. О системах нормативных документов

Документы Ростехнадзора. На рис.6.3 представлены нормативные документы, разработанные в целях регулирования безопасного обращения с РАО. Два уровня представляют собой ФНП. Причем на верхнем уровне размещается документ [83], в котором постулируются общие принципы, цели и концепция обращения с РАО.

На втором уровне – ФНП, конкретизирующие принципы и требования безопасности для обеспечения общих положений при обращении с РАО на различных этапах обращения с РАО.

Третий уровень состоит из Руководств по безопасности (РБ) по различным направлениям деятельности при обращении с РАО, носящих рекомендательный характер и показывающих, каким образом можно обеспечить безопасность, декларируемую на первом уровне и требуемую на втором уровне (РБ содержат приемлемые для Ростехнадзора способы и методы выполнения положений и требований ФНП). Кроме РБ в третий уровень входят также МУ, Санитарные нормы и правила (САНИП), ГОСТ, ОСТ, СТП.

В течение последних 10 лет в Ростехнадзоре разрабатывается комплекс документов по *учету, контролю, физической защите и транспортированию* ядерных материалов, радиоактивных веществ

и РАО, определенных ст. 3 ФЗ [2]. Требования по безопасности, изложенные в этих документах, зависят от количества ядерных материалов, имеющегося на предприятии (см. гл.11).

Рекомендации МАГАТЭ:

Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и безопасности обращения с РАО

Федеральные законы:

- Об использовании атомной энергии
- О радиационной безопасности населения
- Об охране окружающей среды

Федеральные нормы и правила:

•• Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. НП-058-04

- Сбор, переработка, хранение кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП-019-2000.
- Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП-020-2000.
- Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Требования безопасности. НП-021-2000.
- Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности. НП-055-04.
- Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП-069-06.
- Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла. НП-016-05
- Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций. НП-002-04.
- Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-04.
- Правила обеспечения безопасности при временном хранении радиоактивных отходов, образующихся при добыче, переработке и использовании полезных ископаемых. НП-052-04
- Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации промышленных реакторов. НП-007-98
- Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации ядерных установок ядерного топливного цикла. НП-057-04

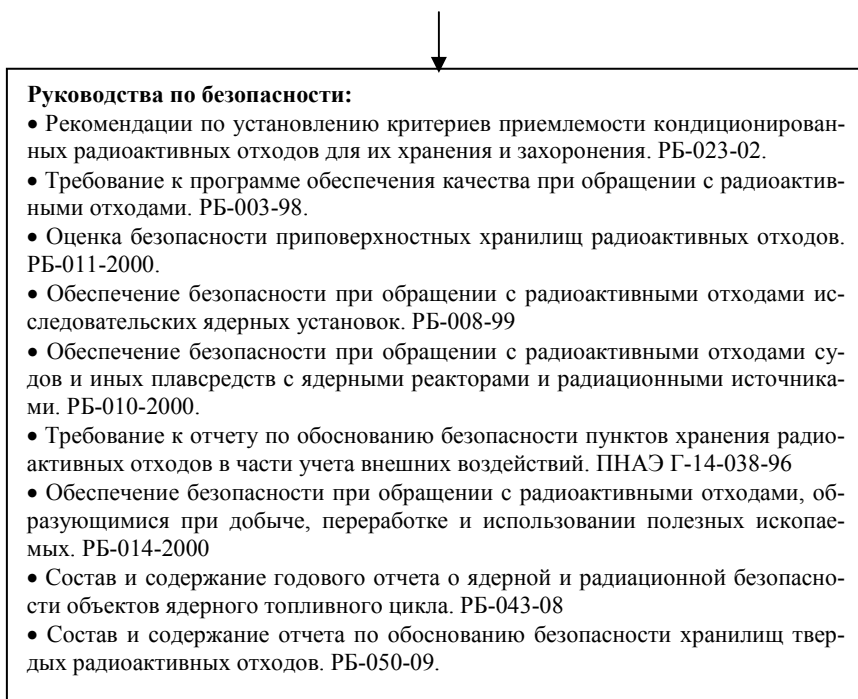


Рис. 6.3. Иерархическая система нормативных документов, регламентирующих обеспечение безопасности обращения с РАО

Нормативные документы других ведомств. Имеются и другие системы нормативных документов, требования которых относятся к регулированию безопасности при обращении с РАО (рис. 6.4 и рис.6.5). Это, прежде всего, система Государственных санитарно-эпидемиологических правил и нормативов, разработанная Минздравсоцразвития России и касающаяся требований санитарной и радиационной безопасности при обращении с РАО (рис. 6.4), а также система ГОСТов, разработанные Федеральной службой по техническому регулированию и метрологии (Госстандарта России), относящаяся к вопросам обращения с РАО (рис. 6.5).

В основе системы санитарных-эпидемиологических правил, в первую очередь, лежат положения двух ФЗ [3],[84]. Многие годы санитарные правила, основанные на Нормах и правилах радиационной безопасности (НРБ и ОСПОРБ), служили основными документами, обеспечивающими поддержку в регулировании радиационной безопасности области ИАЭ.

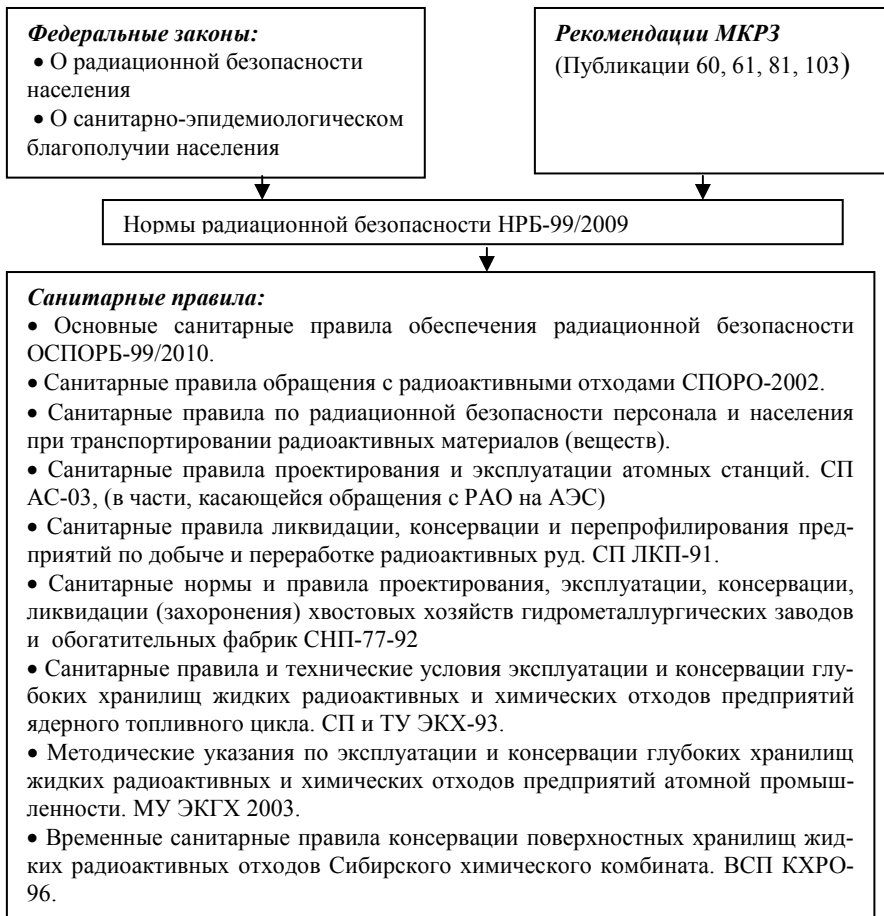


Рис.6.4 Структура системы СанПинов, содержащих требования по санитарной и радиационной безопасности при обращении с РАО

Следует отметить, что кажущаяся «двойственность» в подходе к радиационной безопасности обусловлена тем, что радиационная безопасность имеет два аспекта: технический и санитарно-гигиенический. Первый относится к сфере Ростехнадзора, второй – Минздравсоцразвития России. Поэтому Ростехнадзор рассматривает технические обоснования безопасности объектов и проводит их лицензирование, а Минздравсоцразвития нормирует и контролирует воздействие радиационного излучения на человека и окружающую среду.

Стандарты [78] – документы, в которых в целях *добровольного многократного использования* устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт может также содержать правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила отбора образцов, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам нанесения.

Следует отметить два очень важных момента в этом определении – это добровольность и многократность использования. Именно опыт многократного использования и его добровольность приводит в конечном итоге к необходимости стандартизации продукции (изделий), порядка проведения работ или выполнения (предоставления) услуг, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарты выпускаются, как правило, на продукцию, сооружения и технологические процессы, проверенные временем, обоснованные научными исследованиями и подтвержденные опытом многократного использования. В России существует несколько стандартов, относящихся к системе обращения с РАО (рис.6.5). Эти стандарты учитывают, в соответствии с определением термина "стандарт", требования нормативных документов Ростехнадзора, Минздравсоцразвития России, МЧС России, Госстандарта России др.

В настоящее время ФЗ [78] и ГОСТ [85] установлен перечень документов в области стандартизации, который должен использоваться на территории РФ:

- национальные стандарты;
- правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации;
- применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- стандарты организаций;
- своды правил;
- международные стандарты, региональные стандарты, региональные своды правил, стандарты иностранных государств и своды правил иностранных государств, зарегистрированные в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов;
- надлежащим образом заверенные переводы на русский язык международных и региональных стандартов, региональных сводов и правил, стандартов и сводов правил иностранных государств, принятых на учет национальным органом РФ по стандартизации.

Стандарты, используемые в системе обращения с РАО



- ГОСТ Р 505996-96. Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов.
- ГОСТ Р 52037-2003. Могильники приповерхностные для захоронения радиоактивных отходов. Общие требования.
- ГОСТ Р 50926-96. Отходы высокоактивные отвержденные. Общие технические требования.
- ГОСТ Р 50927-96. Отходы радиоактивные битумированные. Общие технические требования.
- ГОСТ Р 51824-2001. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования.
- ГОСТ Р 51102-97. Покрытия полимерные защитные дезактивируемые. Общие технические требования.
- ГОСТ 13015.2-81. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные. Маркировка.
- ГОСТ 12.1.048-85. Система стандартов безопасности труда. Контроль радиационный при захоронении радиоактивных отходов. Номенклатура контролируемых параметров.

Рис.6.5 Структура системы стандартов по обращению с РАО

Этот перечень провозглашает установление единой системы документации по стандартизации в стране, интегрирующей в международную систему стандартов.

Как видно, в этот перечень не входят отраслевые стандарты (ОСТы), в соответствии с которыми работают многие предприятия атомной промышленности. Это обусловлено двумя причинами: ликвидацией отраслевых министерств и отсутствием стандартов подобного типа в других странах. По-видимому, ОСТы в дальнейшем будут преобразованы в национальные стандарты, стандарты организаций, своды правил. Поскольку общее количество ОСТов в стране довольно велико (более 46 тыс.), то предстоит довольно трудная и длительная работа по ликвидации всех ОСТов, в которых сконцентрирован опыт нескольких поколений ученых и практиков по совершенствованию производственных процессов различных отраслей промышленности.

Следует отметить еще один пласт нормативных документов, который не вошел в приведенный перечень. Это многочисленные нормы и правила федеральных органов исполнительной власти, например СанПиНы, СНИПы, МУ и др. В настоящее время они отнесены к категории «свод правил».

Представленные на рис.6.3, 6.4 и 6.5 нормативные документы в области безопасности обращения с РАО дополняют друг друга и не противоречат друг другу. Одни и те же требования, но с различными акцентами, иногда повторяются в этих документах. Подобное дублирование не всегда оправдано, поскольку иногда осложняет работу эксплуатирующих организаций. Возможные подходы к оптимизации использования государственных разрешительных методов регулирования безопасности в условиях инновационного развития атомного энергопромышленного комплекса широко обсуждается в [83].

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Почему орган государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности должен быть независимым органом исполнительной власти?

2. Какие функции возложены Правительством РФ на Ростехнадзор в настоящее время?

3. В чем сущность лицензирования видов деятельности объектов ИАЭ?

4. На какие этапы жизненного цикла предприятия должны оформляться лицензии Ростехнадзора?

5. Что общего и в чем различия контроля и надзора ?

6. Что такое нормативно-правовое регулирование при ИАЭ?

7. Существуют какие-либо особенности в лицензировании, надзоре и контроле, а также нормативно-правовом регулировании при осуществлении деятельности по обращению с РАО?

8. Перечислите принципы, положенные в основу разработанной в настоящее время системы нормативных документов при обращении с РАО в России.

9. Какие другие системы нормативных документов в обеспечении безопасного обращения с РАО используются в России?

10. Какие Федеральные законы России, непосредственно относящиеся к деятельности по обращению с РАО, находятся в стадии разработки в настоящее время?

Глава 7. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАО

7.1. Требования безопасности в Федеральных законах РФ

Основные векторы, определяющие безопасность обращения с РАО в России определены ст. 47 и 48 ФЗ *«Об использовании атомной энергии»* [2]. Приведем выдержки из этих статей, касающиеся обращения с РАО:

Статья 47. При хранении и переработке ядерных материалов, радиоактивных веществ и РАО должна обеспечиваться надежная защита работников объектов использования атомной энергии, населения и окружающей среды от недопустимого в соответствии с нормами и правилами в области использования атомной энергии радиационного воздействия и радиоактивного загрязнения. Хранение РАО должно рассматриваться в качестве этапа их подготовки к переработке или к захоронению.

Статья 48. При хранении или захоронении РАО должны быть обеспечены их надежная изоляция от окружающей среды, защита настоящего и будущих поколений, биологических ресурсов от радиационного воздействия сверх установленных нормами и правилами в области использования атомной энергии пределов.

Хранение и захоронение РАО допускается только в специально предназначенных для этого пунктах хранения. Хранения или захоронение РАО должно предусматриваться проектной или технической документацией в качестве обязательного этапа любого цикла ядерной технологии. Порядок организации, сбора и захоронения РАО, а также органы, осуществляющие эту деятельность, определяются Правительством РФ в соответствии с законодательством РФ.

В ФЗ *«Об охране окружающей среды»* [86] требования в области охраны окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления изложены в *ст. 51*:

Отходы производства, в том числе РАО, подлежат сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению, условия и способы которых должны быть безопасными для окружающей среды и регулироваться законодательством РФ.

Запрещается:

- сброс отходов производства и потребления, в том числе РАО, в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площадки, в недра и на почву;

- размещение опасных отходов и РАО на территориях, прилегающих к городским и сельским поселениям, в лесопарковых, курортных, лечебно-оздоровительных, рекреационных зонах, на путях миграции животных, вблизи перестилищ и в иных местах, в которых может быть создана опасность для окружающей среды, естественных экологических систем и здоровья человека;

- захоронение опасных отходов и РАО на водосборных площадках подземных водных объектов, используемых в качестве источников водоснабжения, в бальнеологических целях, для извлечения ценных минеральных ресурсов;

- ввоз опасных отходов и РАО в РФ в целях их захоронения и обезвреживания.

Общие требования к нормативам допустимых выбросов и сбросов веществ, нормативам образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение, нормативы допустимых физических воздействий на окружающую среду и др. изложены в гл. V ФЗ [86].

ФЗ *«О радиационной безопасности населения»* [3] непосредственно не имеет статей, относящихся к обеспечению безопасности при обращении с РАО. Он определяет правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья при любых работах, в которых возникает опасность радиационного облучения. В законе изложены основные принципы обеспечения радиационной безопасности, в том числе: *нормирования, обоснования и оптимизации*, содержание которых приведено в гл. 2. Этот же ФЗ устанавливает государственное нормирование в области обеспечения радиационной безопасности – нормы радиационной безопасности для населения и персонала.

ФЗ *«О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»* [84] определяет правовые основы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Общие санитарно-эпидемиологические требования к хранению и захоронению отходов производства и потребления закреплены в ст. 22. Согласно ст. 27 хранение и захоронение радиоактивных веществ, материалов и

отходов допускается при наличии *санитарно-эпидемиологических заключений* о соответствии условий работы с источниками физических факторов воздействия на человека (ионизирующего излучения) санитарным правилам.

В ФЗ *«Об экологической экспертизе»* [74] регулируются отношения в области государственной и общественной экологической экспертиз, определяет объекты и порядок проведения обязательной государственной экологической экспертизы различного уровня, а также объекты и условия проведения общественной экологической экспертизы.

Водный кодекс РФ [87] регулирует отношения по использованию и охране водных объектов (поверхностных и подземных), находящихся в государственной, муниципальной или частной собственности. Ст. 56:

- сброс в водные объекты и захоронение в них отходов производства и потребления;
- захоронение в водных объектах ядерных материалов, радиоактивных веществ;
- сброс в водные объекты сточных вод, содержание в которых радиоактивных веществ... и других опасных для здоровья человека веществ и соединений превышает нормативы допустимого воздействия на водные объекты.

Примечание. Водоемы ряда ПЯТЦ являются промышленными водоемами, созданными в период экстренного выполнения оборонных программ. Их статус и эксплуатация регулируются специальными постановлениями Правительства РФ и условиями действия лицензий Ростехнадзора.

ФЗ *«О недрах»* [88] содержит норму, прямо регулирующую вопросы глубинного захоронения РАО, в том числе захоронение ЖРО в глубокие геологические формации. Ст. 10 устанавливает, что основанием получения права пользования недрами для целей захоронения РАО в глубоких геологических формациях, обеспечивающих локализацию таких отходов, может быть решение Правительства РФ, согласованное с органами исполнительной власти субъектов РФ.

ФЗ *«О техническом регулировании»* [78] устанавливает, что требования к безопасности продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, носящие обязательный характер, могут определяться только Техническими регламентами, кото-

рые принимаются Указом Президента РФ или Постановлением Правительства РФ.

Новая редакция ст.5 ФЗ (2008 г.) устанавливает, что в отношении продукции и объектов, подпадающих под требования, связанные с обеспечением ядерной и радиационной безопасности в области использования атомной энергии, наряду с требованиями технических регламентов являются обязательными требования, установленные Федеральными органами государственного управления и государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

В настоящее время подготовлен и находится на рассмотрении в органах государственной власти проект ФЗ *«Об обращении с радиоактивными отходами»*. В соответствии с ним в РФ должна быть создана *единая государственная система обращения с РАО*. Одним из основных принципов её создания и функционирования является ответственность государства за обеспечение безопасности населения и охрану окружающей среды при окончательном захоронении накопленных РАО и разделение ответственности за обращение с образующимися РАО между государством и субъектами хозяйственной деятельности [22]. Проектом закона предусматривается определение органа исполнительной власти, осуществляющего *государственное управление в области обращения с РАО*, а также его функции по управлению процессом обращения РАО в стране.

Также предусматривается создание нового субъекта единой государственной системы – *национального оператора по обращению с РАО*, задачами которого является планирование, организация и осуществление деятельности по обращению с РАО, включая их долговременное хранение и окончательную изоляцию (захоронение).

Закон должен закрепить обязанность производителей РАО заплатить за полный цикл обращения с ними. Таким образом, должен быть реализован тезис «загрязнитель платит», который полностью соответствует международным экологическим нормам, также предполагается создание правовых и экономических механизмов, обеспечивающих деятельность по обращению с накопленными и образующимися РАО достаточными финансовыми ресурсами.

7.2. Цели и принципы обеспечения безопасности при обращении с РАО

Как видно из структуры нормативных документов, регламентирующих безопасность обращения с РАО (см. рис 6.3), основополагающим документом является НП-058-04 [83], устанавливающий общие положения (требования) при обращении со всеми категориями РАО для всех видов деятельности различных объектов ИАЭ. Этот документ разработан с учетом основных положений и требований, изложенных в ФЗ [2],[3]. Кроме того, в этом документе учтены рекомендации Объединенной конвенции [4], а также рекомендации МАГАТЭ [29],[89].

Ниже представлены общие положения, изложенные в документе НП-058-04 с учетом положений НП-016-05, НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 [90],[17]-[19].

Примечания: 1. Нормативный документ НП-016-05 [90] устанавливает цель, критерии, принципы и общие требования обеспечения ядерной и радиационной безопасности для всех ОЯТЦ и распространяется на проектируемые, сооружаемые, эксплуатируемые и выводимые из эксплуатации ОЯТЦ, в том числе:

- сооружения, комплексы, установки с ядерными материалами, предназначенные для производства, транспортирования, переработки ядерного топлива и ЯМ, включая обращение с образующимися при этом РАО;
- сооружения, комплексы и установки, в которых содержатся РАО, расположенные на территории ядерной установки и не предусмотренные в проекте ядерной установки;
- стационарные объекты и сооружения, предназначенные для хранения РАО, расположенные на территории ядерной установки и не предусмотренные в проекте ядерной установки;
- стационарные объекты и сооружения, предназначенные для захоронения РАО.

2. Нормативные документы ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 [18],[19], содержат общие положения (требования) по обращению с РАО для различных категорий и видов РАО. Эти требования, в основном, сфокусированы на обеспечении норм радиационной безопасности и вводят ограничения в действия персонала, способствующих снижению его облучения при выполнении всех операций при обращении с РАО, а также снижения неоправданного воздействия на окружающую среду и население.

НП-058-04 также имеет аналогичные требования, имеющие технический характер процедур обращения с РАО, а также требований к оборудованию, его качеству и надежности, правильности его использования, наличию приспособлений для защиты от излучения и др.

3. СПОРО-2002 имеет широкое распространение и являются обязательными для исполнения на всей территории России. Однако примечание к п.1.3 гласит

«для радиационных объектов, когда источники образования РАО, места их сбора, временного хранения, а также маршруты транспортирования, пункты переработки и захоронения расположены в пределах территории организации, предлагается руководствоваться специальными требованиями, учитывающими специфику обращения с РАО в этих условиях». Таким образом, СПОРО-2002 можно не распространять на объекты ЯТЦ и АЭС, обращение с РАО на которых в основном замкнуто в пределах этих объектов. Тем не менее часть РАО указанные объекты ИАЭ отправляют на переработку, хранение и захоронение в специализированные организации, на которые распространяется действие СПОРО-2002.

Основной целью обеспечения безопасности любого объекта ИАЭ является защита работников (персонала), населения и окружающей среды от его радиационного воздействия. Применительно к обращению с РАО эту цель можно конкретизировать, представив ее рядом конкретных целей:

- обеспечение надежной защиты работников (персонала) и населения от радиационного воздействия РАО сверх установленных нормами радиационной безопасности уровней;
- обеспечение надежной изоляции ЖРО и ТРО от окружающей среды, защита настоящего и будущих поколений, биологических ресурсов от радиационного воздействия сверх пределов, установленных нормами радиационной безопасности;
- предотвращение выбросов (сбросов) при обращении с РАО в окружающую среду в количестве, превышающем предельно допустимые выбросы (сбросы).

Достижение указанных целей возможно только при соблюдении ряда *исходных принципов*, которые соответствуют рекомендациям МАГАТЭ, и подробно изложены в гл. 2. Это принципы нормирования, обоснования, оптимизации, защиты здоровья человека, охраны окружающей среды, взаимозависимости стадий образования РАО и обращения с ними, защиты будущих поколений, невозложения чрезмерного бремени на будущие поколения, контроля за образованием и накоплением РАО, предотвращение аварий с радиационными последствиями и ослабление возможных последствий в случае их возникновения.

Эти принципы должны быть реализованы через систему *требований к обеспечению безопасности* на всех стадиях обращения с РАО (сбор, сортировка, временное хранение, удаление из организации, длительное хранение и захоронение РАО). Некоторые особенности обеспечения безопасности при обращении

с РАО водоемов-хранилищ, хвостохранилищ и загрязненных территорий вынесены в разд.7.5.

7.3. Общие требования к обеспечению безопасности

Сбор и сортировка РАО являются начальным этапом обращения с РАО. Эти операции должны производиться в местах их образования отдельно от нерадиоактивных отходов с учетом:

- агрегатного состояния (ЖРО или ТРО);
- категории (НАО, САО, ВАО);
- количества (по объему и весу);
- физических и химических свойств (например, порошок и бумага, растворы и масла и др. – разные по физическим и химическим свойствам вещества);
- периода полураспада содержащихся в РАО радионуклидов (менее 15 сут, более 15 сут). РАО с периодом полураспада менее 15 сут выдерживаются в местах временного хранения для снижения активности до уровней, когда в соответствии с требованиями правил ОСПОРБ-99/2010, отходы будут считаться нерадиоактивными и могут захораниваться как обычные отходы;
- взрыво- и пожароопасности РАО;
- методов дальнейшего обращения с РАО.

Места расположения сборников РАО должны обеспечиваться защитными приспособлениями для снижения излучения за их пределами до допустимого уровня. Для временного хранения и выдержки сборников с РАО, на поверхности которых мощность поглощенной дозы гамма-излучения превышает 2 мГр/ч, должны быть специально оборудованы защитные колодцы или ниши. Извлечение отходов из колодцев и ниш необходимо производить с помощью специальных устройств, исключающих переоблучение обслуживающего персонала.

В связи с повышенной радиационной опасностью отработавших свой ресурс радионуклидных источников излучения и РАО, содержащих альфа-излучающие и трансурановые радионуклиды, все перечисленные виды РАО собираются отдельно от прочих отходов.

Запрещается сброс ЖРО в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву.

ГРО, образуемые в результате технологических сдувок, подлежат обязательной очистке. Подсоединение трубопроводов технологических сдувок к сборным вентиляционным коробам, по которым воздух направляется в вентиляционную трубу, допускается только после очистки и (или) выдержки технологических сдувок в оборудовании по обращению с ГРО.

Для того чтобы избежать ошибочного (аварийного) попадания ГРО в систему снабжения очищенным воздухом помещений постоянного пребывания персонала, не допускается использование общеобменной (вытяжной) вентиляционной системы для удаления технологических сдувок.

Переработка. Запрещается любая переработка РАО вместе с нерадиоактивными отходами.

Временное хранение РАО различных категорий в организации должно осуществляться в отдельных помещениях либо на специально выделенном участке, оборудованном в соответствии с требованиями, предъявляемыми к помещениям для работ не ниже II класса. Запрещается хранение в организациях свыше срока, предусмотренного проектом, некондиционированных РАО и отработавших источников ионизирующего излучения.

Временное хранение РАО следует осуществлять в контейнерах. Конструкция контейнеров должна обеспечивать возможность их погрузки и разгрузки со спецтранспорта. Типы контейнеров для РАО определяются характеристиками отходов. На наружной поверхности сборников – контейнеров должен быть нанесен знак радиационной опасности. При невозможности нанесения такого знака на контейнер с РАО навешивается бирка со знаком радиационной опасности. Мощность дозы гамма-излучения в воздухе на расстоянии 1 м от контейнера с РАО допускается не более 0,1 мГр/ч. Мощность дозы гамма - излучения за пределами или на границе участка временного хранения РАО не должна превышать 0,005 мГр/ч. Сроки временного хранения кондиционированных РАО, подготовленных к удалению на захоронение, должны определяться проектом. Должно быть оборудовано специальное помещение (или место в помещении) для дезактивации сборников – контейнеров.

Временное хранение контейнеров с РАО, содержащими эманулирующие²⁰ РВ (радий, торий и др.), производится в вытяжных шкафах или укрытиях, оборудованных системой вытяжной вентиляции со скоростью движения воздуха в рабочих проемах вытяжных шкафов не менее 1,5 м/с.

Классификация объектов ИАЭ и обеспечение безопасности. Для зданий, сооружений, помещений, систем (элементов) по обращению РАО в соответствии с требованиями нормативных документов в проекте объекта ИАЭ должны быть приведены классификации по безопасности, сейсмостойкости, назначению и т.д. Классификация систем и элементов ОЯТЦ по назначению, влиянию на безопасность и характеру выполняемых ими функций безопасности приведена в НП-016-05.

Безопасность при обращении с РАО должна обеспечиваться на основе применения *системы физических барьеров* на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду. Количество и назначение барьеров должны быть определены и обоснованы в проекте объекта ИАЭ.

Примечание. Под физическим барьером в общем случае понимается преграда на пути распространения ионизирующего излучения и радионуклидов в окружающую среду. Наличие физических барьеров (искусственных и естественно-природных) имеет большое значение для снижения воздействия излучения на человека не только при длительном хранении или захоронении РАО, но и при проведении всех (без исключения) работ по обращению с РАО. В процессе сбора, сортировки, транспортировки отходов физическими барьерами являются матрица, в которой могут размещаться РАО, стенки сосудов с радиоактивной жидкостью, стенки транспортного контейнера, специальная защита, стены здания, респираторы, слой воды и т.д.

В *проектной и эксплуатационной документации объекта ИАЭ* должны быть приведены конкретные технические решения и организационные мероприятия по обеспечению безопасности при обращении с РАО каждой категории, в том числе:

- минимизация РАО по величине их активности, массе (объему);
- сбор, и (или) переработка, и (или) кондиционирование, и (или) хранение ЖРО и ТРО, включая РАО, образующиеся при выводе из эксплуатации объекта ИАЭ;

²⁰ Эманирование – выделение радиоактивных изотопов радона из твердых веществ, содержащих его изотопы.

- выдержка и (или) очистка ГРО;
- методы и средства радиационного и технологического контроля;
- предотвращение выбросов (сбросов) радионуклидов выше предельно допустимых;
- безопасное транспортирование РАО на площадке объекта ИАЭ и (или) до мест захоронения РАО;
- предотвращение возникновения СЦР при обращении с РАО, содержащими ядерные делящиеся вещества (материалы);
- физическая защита, учет и контроль РАО.

Обращение с РАО различных категорий (НАО, САО, ВАО) и нерадиоактивными отходами должно производиться в отдельных системах.

В проектной и эксплуатационной документации объекта ИАЭ должны быть приведены радионуклидный состав, величина активности и количество РАО, образующихся при нормальной эксплуатации ОЯТЦ и при авариях. Кроме того, должны быть приведены технические решения и организационные мероприятия по безопасному хранению РАО каждой категории, а также установлены и обоснованы предельно допустимое количество (объем) хранящихся РАО, их удельная и общая активность, радионуклидный состав и сроки хранения.

Конструкция и конструкционные материалы хранилища РАО должны предотвращать выход радионуклидов в окружающую среду выше установленных нормативными документами уровней и обеспечивать срок службы хранилища не менее срока эксплуатации объекта ИАЭ, на котором оно размещено.

Примечание. Срок службы хранилища РАО должен намного превышать срок службы объекта ИАЭ для того, чтобы после его вывода из эксплуатации хранилище могло быть использовано для хранения (захоронения) РАО, образовавшихся после вывода из эксплуатации этого объекта ИАЭ, и с тем, чтобы это хранение РАО было бы долговременным.

Радиационный контроль. При обращении с РАО должен осуществляться радиационный контроль в соответствии с требованиями нормативных документов. В проектной и эксплуатационной документации объекта ИАЭ должны быть регламентированы: объекты, виды и периодичность контроля, контролируемые параметры, а также технические средства и методическое обеспечение радиационного контроля.

Технические средства радиационного контроля при обращении с РАО должны обеспечивать проведение следующих видов контроля: дозиметрического, радиоактивных загрязнений зданий, площадки и окружающей среды, технологического контроля, а также контроля радиационных характеристик РАО (гл. 5).

Выбросы и сбросы. В проектной и эксплуатационной документации должны быть установлены *пределы безопасной эксплуатации по выбросам и сбросам* на уровне предельно-допустимых выбросов (ПДВ) и предельно-допустимых сбросов (ПДС) и эксплуатационные пределы – на уровне допустимых выбросов и сбросов (ДВС). Недопустимо превышение ПДВ и (или) ПДС при нормальной эксплуатации предприятия.

Для контроля за выбросами (сбросами) на основании проектных значений ДВС должны быть установлены *контрольные уровни выбросов (сбросов)* за сутки и за месяц. Величины контрольных уровней выбросов (сбросов) должны быть ниже определенных проектом объекта ИАЭ величин ДВС и периодически пересматриваться с учетом накопленного опыта и совершенствования технологий.

Для каждого источника выброса (сброса) радиоактивных веществ должны контролироваться и регистрироваться величины контрольных уровней выбросов (сбросов).

Прогнозные оценки безопасности. С целью определения необходимости реализации технических решений и организационных мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности эксплуатируемых хранилищ РАО, должны быть проведены анализ текущего уровня их безопасности и прогнозный расчет для оценки безопасности системы хранения РАО.

По результатам анализа и прогнозного расчета должны быть выполнены все разумно осуществимые мероприятия, направленные на реализацию требований НП-058-04.

Примечание. Настоящее положение дает возможность научно обоснованно подойти к вопросу продления сроков эксплуатации хранилищ РАО, введенных в эксплуатацию до появления современной системы нормативной документации по обращению с РАО. Это допустимо и в свете рекомендаций Объединенной конвенции. Применение разумных корректирующих мер и средств позволяет, в ряде случаев, найти решения, которые реализуют требования НП-058-04 применительно к хранилищам РАО «исторического наследия».

Транспортирование РАО по площадке предприятия должно производиться в специальных контейнерах с учетом габаритов и

массы транспортируемых РАО, их физических и химических свойств, активности, вида излучения и мощности дозы на внешней поверхности контейнеров и по установленным проектом объекта ИАЭ маршрутам в соответствии с технологической схемой транспортирования.

Транспортирование РАО по площадке объекта ИАЭ не должно осуществляться через помещения постоянного пребывания работников (персонала). Транспортные средства и транспортные контейнеры должны подвергаться радиационному контролю и при необходимости дезактивации.

Транспортирование РАО за пределы площадки предприятия рассмотрено в гл. 12 настоящей книги.

Отчет по обоснованию безопасности. Система технических решений и организационных мероприятий по обеспечению безопасности при обращении с РАО должна быть представлена в Отчете по обоснованию безопасности объекта ИАЭ (гл.13). Какие-либо расхождения между информацией, содержащейся в ООБ и в проекте объекта ИАЭ, не допускаются. Соответствие отчета реальному состоянию обращения с РАО поддерживается эксплуатирующей организацией в течение всего срока эксплуатации объекта ИАЭ.

В проекте должно быть отмечено, что облучение лиц, занятых обращением с РАО, не должно превышать дозовых пределов, установленных для персонала. Облучение населения при всех видах обращения с РАО не должно превышать 0,1 мЗв/год.

7.4. Общие требования к обеспечению безопасности при захоронении РАО

В развитие общих требований к обеспечению безопасности при захоронении РАО в системе нормативных документов по обращению с РАО разработан документ НП-055-04 [91], в котором приводятся общие требования к конкретным способам захоронений (приповерхностное, глубинное, захоронение ЖРО в глубокие геологические формации). Положения этого документа рассматриваются в гл. 10.

Ниже в сжатом виде приводятся общие требования, относящиеся ко всем видам захоронений, о которых говорится в НП-058-04:

Безопасность ПЗРО должна обеспечиваться за счет последовательной реализации *концепции глубокоэшелонированной защиты* (ГЭШЗ), основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также системы технических и организационных мер по защите физических барьеров и сохранению их эффективности, а также по защите работников (персонала), населения и окружающей среды.

Система технических и организационных мер *применительно к ПЗРО, а также к долговременным хранилищам РАО*, в общем случае должна образовывать следующие основные уровни ГЭШЗ.

Уровень 1. Условия размещения ПЗРО и предотвращение нарушений нормальной эксплуатации:

- оценка и выбор площадки, пригодной для размещения ПЗРО;
- установление санитарно-защитной зоны, а также зоны наблюдения вокруг ПЗРО;
- разработка проекта на основе консервативного подхода и с использованием свойств внутренней самозащищенности систем (элементов);
- обеспечение требуемого качества систем (элементов) ПЗРО и выполняемых работ;
- эксплуатация ПЗРО в соответствии с требованиями федеральных норм и правил, других нормативных документов и эксплуатационной документации;
- поддержание в исправном состоянии систем (элементов), важных для безопасности, путем своевременного определения дефектов, принятия профилактических мер, замены выработавшего ресурс оборудования и организации эффективно действующей системы документирования результатов работ и контроля;
- подбор и обеспечение необходимого уровня квалификации работников (персонала) для действий при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая предаварийные ситуации и аварии;
- формирование и поддержание культуры безопасности.

Уровень 2. Предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации:

- выявление отклонений от нормальной эксплуатации и их устранение;

– управление при эксплуатации с отклонениями.

Уровень 3. Предотвращение запроектных аварий системами безопасности:

– предотвращение перерастания исходных событий в проектные аварии, а проектных аварий в запроектные с обеспечением функционирования систем безопасности согласно проекту;

– ослабление последствий аварий, которые не удалось предотвратить путем локализации радиоактивных веществ другими методами.

Уровень 4. Управление запроектными авариями:

– предотвращение развития запроектных аварий и ослабление их последствий;

– возвращение ПЗРО в контролируемое состояние, при котором прекращается цепная реакция деления и обеспечивается удержание ядерных материалов и радиоактивных веществ в установленных границах;

– возвращение ПЗРО в контролируемое состояние, при котором прекращается опасная химическая, экзотермическая и др. реакции, сопровождающиеся повышением температуры и образованием избыточных газов и удержание радиоактивных веществ и ядерных материалов в установленных границах.

Уровень 5. Противоаварийное планирование:

– подготовка и осуществление (при необходимости) планов противоаварийных мероприятий на ОЯТЦ и за его пределами.

Отметим, что концепция ГЭШЗ, впервые изложенная в рекомендациях МАГАТЭ применительно к АЭС (НП-001-97), распространена на ОЯТЦ (НП-016-05, п.2.2.), в том числе и на хранилища РАО и ПЗРО. Концепция ГЭШЗ должна реализовываться на всех этапах жизненного цикла ПЗРО. Приоритетной при этом является стратегия предотвращения нарушений нормальной эксплуатации, в первую очередь, для уровней, связанных с выбором места размещения хранилища и/или предотвращения отклонений в условиях нормальной эксплуатации хранилища РАО и ПЗРО.

Безопасность системы захоронения РАО (долговременная безопасность) должна обеспечиваться на основе реализации принципа *многобарьерности*, основанного на применении системы барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, чтобы *нарушение целостности*

одного из барьеров или вероятные внешние события природного или техногенного происхождения *не привели к недопустимому снижению уровня безопасности системы захоронения РАО.*

Требования к обеспечению безопасности системы захоронения РАО должны быть установлены и обоснованы еще на этапе проектирования ПЗРО, в том числе:

- количество и назначение барьеров (инженерных и естественных), обеспечивающих долговременную безопасность ПЗРО и реализующих принцип многобарьерности;

- прогнозный расчет оценки безопасности систем захоронения РАО;

- выбор способа захоронения в зависимости от характеристик РАО (радионуклидный состав, удельная активность, период потенциальной опасности, физико-химические свойства) с учетом природных условий размещения ПЗРО;

- соответствие характеристик РАО, подлежащих захоронению, критериям приемлемости РАО для данных условий захоронения (способа захоронения);

- технические и организационные мероприятия по обеспечению безопасности захоронения с учетом характеристик РАО, размещенных в ПЗРО;

- технические и организационные мероприятия, направленные на предотвращение возникновения СЦР с учетом свойств инженерных и естественных барьеров, способных к концентрации радионуклидов при их миграции в системе захоронения РАО;

- средства, объем, периодичность и продолжительность радиационного контроля и мониторинга системы захоронения РАО как в период размещения РАО в ПЗРО, так и после закрытия хранилища РАО;

С целью определения необходимости реализации технических решений и организационных мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности *эксплуатируемых* ПЗРО, должны быть проведены *анализ текущего уровня безопасности и прогнозный расчет* для оценки безопасности системы захоронения РАО.

По результатам проведенного анализа и прогнозного расчета должны быть выполнены все осуществимые мероприятия, направ-

ленные на реализацию требований нормативного документа НП-058-04.

7.5. Обеспечение безопасности при обращении с РАО, накопленными в поверхностных водоемах-хранилищах ЖРО и хвостохранилищах, а также с РАО, образующимися при добыче и переработке руд и радиоактивных веществ

В НП-058-04 формулируются требования по обеспечению безопасности при обращении с РАО:

- образующимися при добыче и переработке руд радиоактивных веществ и других полезных ископаемых,
- накопленными в поверхностных водоемах-хранилищах ЖРО и хвостохранилищах,
- образующимися при реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами.

Водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища. Следует отметить, что требования по обращению с жидкими РАО, накопленными в поверхностных водоемах-хранилищах, *впервые сформулированы именно в НП-058-04*. Хотя они являются требованиями общего порядка, однако служат хорошим ориентиром обеспечения безопасности при эксплуатации поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО. Приведем эти требования полностью, поскольку они актуальны для основных РХП, хранящиеся на этих объектах РАО, объем которых составляет свыше 10^{18} Бк.

При обращении с РАО, накопленными в поверхностных водоемах-хранилищах ЖРО и хвостохранилищах, должны быть предусмотрены технические средства и организационные мероприятия, направленные на предотвращение:

- облучения работников (персонала) и населения выше уровней, установленных нормами радиационной безопасности;
- загрязнения окружающей среды, включая загрязнение радионуклидами поверхностных водоемов и подземных вод;
- ветрового уноса радиоактивных аэрозолей, пылеобразования и уноса с пылью радионуклидов.

При обращении с РАО, накопленными в поверхностных водоемах-хранилищах ЖРО и хвостохранилищах, должен быть предусмотрен радиационный контроль, включая радионуклидный и хи-

мический состав водной фазы и донных отложений, радионуклидный и химический состав загрязнения окружающей среды (атмосферы, грунта).

Должен быть обеспечен мониторинг состояния поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ, включающий контроль:

- поступающих в них отходов (номенклатура, количество, радионуклидный и химический состав);
- состояния барьеров (величина фильтрационных потерь воды, миграция радионуклидов в окружающую среду, радионуклидный и химический состав подземных вод).

Хвостохранилище должно быть оборудовано физическими барьерами, предотвращающими загрязнение радиоактивными веществами поверхностных и подземных вод. Должны быть предусмотрены технические средства для сбора фильтрационных вод, возврата их в хвостохранилище или передачи в систему оборотного водоснабжения технологического процесса.

Эксплуатирующая организация должна разрабатывать и осуществлять технические и организационные мероприятия, направленные на:

- ограничение поступления радионуклидов в поверхностные водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища;
- предотвращение недопустимых сбросов (протечек) из поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ в поверхностные и подземные водные объекты и на поверхность земли;
- вывод из эксплуатации поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ.

Для каждого поверхностного водоема-хранилища ЖРО и хвостохранилища должны быть установлены и обоснованы:

- сроки хранения РАО;
- количество (масса, объем) хранящихся РАО;
- радионуклидный состав, удельная и общая активности хранящихся РАО;
- нормы поступления радионуклидов;
- величина фильтрационных потерь воды;
- предельные величины миграции радионуклидов в окружающую среду.

Добыча и переработка руд радиоактивных веществ. При добыче и переработке руд радиоактивных веществ должны быть предусмотрены технические средства и выполнены организационные и технические мероприятия по обеспечению безопасного обращения с РАО, направленные на:

- защиту работников (персонала) и населения от радиационного воздействия радионуклидов;
- предотвращение распространения радионуклидов в окружающую среду;
- минимизацию образования РАО;
- минимизацию загрязнения окружающей среды сырьем и отвалами горных пород, технологическими продуктами, шахтными (карьерными) и другими сточными водами;
- использование сточных вод в технологическом процессе (оборотное водопользование);
- минимизацию выделения в рабочие помещения радиоактивных газов, радиоактивной пыли, токсичных нерадиоактивных веществ и других вредных примесей.

При обращении с РАО, образующимися при добыче и переработке руд радиоактивных веществ, должен быть предусмотрен радиационный контроль в соответствии с требованиями НП-058-04, включая радиационный контроль горных выработок, радионуклидного и химического состава загрязнения окружающей среды (атмосферы, грунта).

При обращении с РАО, образующимися в рудниках, шахтах и других подземных сооружениях, должна быть обеспечена защита работников (персонала) от радиационного воздействия природных радионуклидов, включающая:

- ограничение поступления радона и торона в атмосферу подземных помещений путем изоляции неиспользуемых выработок и помещений, источников подземных вод с высоким содержанием радона, отдельных высокоэманулирующих участков поверхности подземных помещений;
- обеспечение эффективной вентиляции подземных помещений путем повышения кратности воздухообмена на рабочих местах с повышенным содержанием дочерних продуктов распада радона и торона в воздухе, организации непрерывной вентиляции тупиковых выработок, применения нагнетательного способа проветривания;

- снижение уровней запыленности воздуха на рабочих местах;
- использование средств индивидуальной защиты органов дыхания работниками (персоналом).

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Назовите федеральные законы, в которых содержатся основные положения, связанные с безопасностью обращения с РАО.
2. Перескажите содержание статей ФЗ «Об использовании атомной энергии», в которых содержатся основополагающие требования по безопасному обращению с вновь образующимися и накопленными РАО.
3. Какие цели по обеспечению безопасности должны быть реализованы при обращении с РАО на всех этапах обращения с ними?
4. Какими нормативными документами устанавливаются общие положения при обращении с РАО? Какова сфера действия этих документов и, на какие этапы обращения с РАО распространяются эти документы?
5. Назовите основные этапы обращения с РАО.
6. Сформулируйте общие требования по обеспечению безопасности при захоронении РАО.
7. Что такое последовательная реализация концепции ГЭШЗ для ПЗРО?
8. В чем сущность принципа многобарьерности при захоронении РАО?
9. На какие хранилища РАО, являющиеся наследием прошлого (накопленные РАО), распространяется действие документа НП-058-04?
10. Сформулируйте основные требования по обеспечению безопасности при эксплуатации открытых водоемов-хранилищ и хвостохранилищ. Что общего в этих требованиях и почему?

Глава 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАО

8.1. Система обеспечения качества

Общие положения и понятия. Под *качеством* в общем случае понимается степень соответствия присущих характеристик требованиям, относящихся к продукции, работам, услугам и деятельности [92],[93]. Применительно к деятельности при обращении с РАО – *качество* – это совокупность свойств и характеристик работ (услуг) или оборудования при обращении с радиоактивными отходами, определяющих их способность удовлетворять установленным требованиям в соответствии с их назначением [94].

Понятие качества включает три элемента: объект, характеристики и требования (потребности) [95].

1. Объект качества – продукция, процесс, услуга, организация или отдельное лицо, а также любая комбинация из них.

Под *продукцией* понимается результат деятельности или процесса. Продукция классифицируется по четырем категориям: *оборудование* (в том числе запасные части, узлы, детали, приборы и т.д.); *программное обеспечение*; *услуги* (страхование, банковские операции, перевозки и т.д.); *перерабатываемые материалы*. Таким образом, РАО и обращение с ними (сбор, переработка, хранение и т.д.) позволяет отнести их по классификации ИСО к одной из категорий продукции, а именно: *перерабатываемые материалы*.

Услуга – результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности исполнителя по удовлетворению потребности потребителя. При обращении с РАО объекта ИАЭ часто пользуются услугами других предприятий, которые являются поставщиками различных химических реагентов, строительных материалов, оборудования и др. Эти предприятия также должны быть включены в систему обеспечения качества обращения РАО.

2. Характеристика объекта – это совокупность отличительных свойств, которыми могут обладать товары и услуги. Эти свойства могут характеризоваться как количественными, так и качественными характеристиками.

Необходимо отметить, что в современных законодательных актах и стандартах в особую группу относят *требования по безопасности*, отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба. В соответствии со статьями 1, 6 и 7 ФЗ [78], требования по качеству являются обязательными и приоритетными к продукции или к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и др., на всех этапах жизненного цикла продукции.

Важными характеристиками (показателями) качества РАО, определяющими их долговременную безопасность, являются критерии приемлемости РАО для их захоронения. Эти критерии рассмотрены в разд. 8.4.

3. **Требования** – это то, что выражает потребность (необходимость) в продукции, товаре, услуге. Если потребность отсутствует, то теряется смысл в деятельности. Удовлетворение существующих потребностей обеспечивается поставщиками. Характеристик продукции может быть много, но именно те характеристики, которые привлекают потребителя или те характеристики, которые необходимы для того, чтобы данная продукция была приемлемой для какой-то дальнейшей деятельности, определяют потребительские требования к продукции.

«Потребность в РАО» объясняется необходимостью их безопасного и долговременного изолирования в соответствии с статьями 47 и 48 [2].

Организация должна разработать, документально оформить, внедрить и поддерживать в рабочем состоянии систему *менеджмента качества*, постоянно улучшать ее в соответствии с требованиями стандарта [93], а документация системы менеджмента качества должна включать в себя:

а) заявление о политике и целях в области обеспечения качества (политика в области обеспечения качества);

в) руководство по качеству (в отечественной нормативной документации традиционно используется аналогичный по содержанию документ «Программа обеспечения качества» [95],[96]);

с) документы и записи;

д) документы, включая необходимые записи, в целях эффективного планирования, осуществления процессов и управления ими.

Обеспечение качества при обращении с РАО. В настоящее время основой для качественного создания любой продукции (товаров, услуг) считается применение «процессного подхода», который заключается в контроле продукции на всех этапах ее жизненного цикла от проектирования до утилизации и взаимосвязи всех этих этапов. Преимущество процессного подхода состоит в непрерывности управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных этапов в рамках системы обеспечения качества и в течение жизненного цикла продукции. Процессный подход давно используется при обращении с РАО, начиная от сбора, временного хранения, обработки, кондиционирования, длительного хранения и захоронения РАО.

Обеспечение качества при обращении с РАО – планируемая и систематически осуществляемая деятельность, направленная на то, чтобы все работы по обращению с РАО, влияющие на ядерную и радиационную безопасность, проводились в соответствии с требованиями ФНП, а их результаты удовлетворяли предъявленным требованиям.

Система обеспечения качества – совокупность организационной структуры, ответственности, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством.

Вопросы обеспечения качества и создания системы обеспечения качества включены практически во все нормативные документы. Например, в составе всех комплектов документов, обосновывающих ядерную и радиационную безопасность лицензируемых видов деятельности ОЯТЦ, а также лицензируемых видов деятельности и объектов организаций, выполняющих работы и представляющих им услуги, должна быть Программа обеспечения качества (ПОК) заявленного вида деятельности.

В соответствии с государственными стандартами серии ГОСТ Р ИСО серии 9000, 10000, 14000 и рекомендациями документов МАГАТЭ, на каждом предприятии должна быть организована система обеспечения качества продукции и разработаны соответствующие документы, состав и требования к которым приведены в [92], [93]. Применительно к обращению с РАО, Ростехнадзором разработано Руководство по безопасности (РБ-003-98) [94].

ПОК при обращении с РАО – документально оформленный комплекс организационно-технических и других мероприятий по обес-

печению качества, позволяющих руководству эксплуатирующей организации и/или организаций, выполняющих работы и предоставляющие услуги для эксплуатирующей организации, убедиться в том, что вся деятельность, влияющая на ядерную и радиационную безопасность, осуществляется в соответствии с требованиями ФНП в области ИАЭ и других нормативных документов. Программа обеспечения качества разрабатывается в виде общей и частной ПОК.

Частная ПОК при обращении с РАО – ПОК работ (услуг) и/или оборудования на конкретном этапе обращения с РАО (например, при размещении объекта, предназначенного для хранения и/или захоронения РАО, или при переработке и кондиционировании РАО и др.).

ПОК разрабатываются при следующих видах деятельности (отдельные программы для каждого вида деятельности):

- размещение, проектирование и конструирование, сооружение, эксплуатация и вывод из эксплуатации объекта, предназначенного для хранения или захоронения РАО;
- обращение с РАО при их переработке, транспортировании, хранении, захоронении;
- обращение с РАО на ядерной установке, радиационном источнике;
- конструирование оборудования, предназначенного для транспортирования РАО;
- конструирование оборудования, предназначенного для переработки РАО;
- изготовление оборудования, предназначенного для хранения или захоронения РАО;
- изготовление оборудования, предназначенного для транспортирования РАО;
- эксплуатация ядерной установки, радиационного источника, пункта хранения, хранилища РАО.

Организации, выполняющие работы и предоставляющие услуги для эксплуатирующей организации, разрабатывают по ее требованию и другие ПОК в зависимости от специфики выполняемых работ и предоставляемых услуг.

8.2. Программа обеспечения качества

ПОК, как правило, состоит из следующих разделов [94]:

1. Цели и назначение программы.

Раздел определяет конечные результаты деятельности по обеспечению качества при обращении с РАО.

2. Политика в области обеспечения качества²¹ эксплуатирующей организации или организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги для эксплуатирующей организации.

Раздел устанавливает приоритеты обеспечения ядерной и радиационной безопасности при обращении с РАО.

Следует отметить, что одна из основных проблем при обращении с РАО – это минимизация их образования. Коренные причины ее обусловлены в основном тем, что при проектировании и эксплуатации объектов ИАЭ не в полной мере реализуется принцип "взаимозависимость образования РАО и обращения с ними". С точки зрения реализации указанного принципа основными являются требования к *политике, изложенной в ПОК* при обращении с РАО.

Для реализации этого принципа при эксплуатации объекта ИАЭ в соответствии с требованиями нормативных документов эксплуатирующая организация должна:

- обеспечивать своевременную переработку и кондиционирование РАО;
- предотвращать незапланированное накопление РАО;
- обеспечивать ограничение образования РАО на минимальном, практически достижимом уровне;
- устанавливать нормы образования жидких и твердых РАО и периодически пересматривать их с учетом достигнутого положительного опыта обращения с РАО;

²¹ *Политика в области обеспечения качества* – это документально оформленное заявление руководства эксплуатирующей организации и (или) организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги для нее, включающее основные средства и методы обеспечения качества в целях ядерной и радиационной безопасности.

– не допускать не предусмотренного в проекте и эксплуатационной документации хранения РАО в некондиционированном виде.

3. Сведения об организационно-правовой форме эксплуатирующей организации или организаций, выполняющих работы и предоставляющие услуги для эксплуатирующей организации.

4. Документы, принятые для обеспечения качества.

Раздел содержит перечень ФНП, международных, государственных и отраслевых стандартов, а также других нормативных документов, принятых в системе обеспечения качества эксплуатирующей организации.

5. Организационная структура эксплуатирующей организации или организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги для эксплуатирующей организации.

6. Производственная деятельность эксплуатирующей организации или организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги для эксплуатирующей организации.

Раздел содержит перечень и описание работ и процедур, выполняемых работниками предприятия, гарантирующих выполнение необходимых операций по контролю качества технологических процессов и контролю качества конечных продуктов (результатов).

7. Метрологическое обеспечение.

Раздел содержит перечень и описание процедур по организации проверки, калибровки и поверки оборудования и приборов, а также ведения, учета и хранения протоколов проверки, калибровки и поверки оборудования и приборов. Основой этого раздела являются требования ФЗ [97]. В каждой организации должна быть разработана программа контроля качества измерений и должен осуществляться контроль качества измерений в рамках системы государственного учета и контроля РАО. Это может быть Частная ПОК измерений по учету и контролю РАО.

8. Контроль оборудования.

Раздел содержит перечень и описание процедур организации идентификации, контроля (в том числе входного) и испытаний оборудования, комплектующих изделий и материалов, обеспечение полноты видов контроля и испытаний и т.п.

9. Контроль поставками.

Раздел содержит перечень и описание процедур организации закупок и поставок оборудования, комплектующих изделий и материалов, ведения документов на них, проверки ПОК организаций, предоставляющих услуги эксплуатирующей организации.

10. Контроль документов.

Раздел содержит перечень и описание процедур разработки, рассмотрения, согласования, утверждения, анализа и хранения документов, содержащих сведения о качестве работ, оборудования, материалов, комплектующих изделий и др.

11. Контроль несоответствий.

Раздел содержит перечень и описание процедур регистрации нарушений требований к качеству работ (услуг) и/или оборудования (ошибки проектирования, изготовления, отказы, ошибки работников и др.), т.е. содержит все отступления от требований к качеству, которые делают качество работ (услуг) или оборудования неприемлемыми.

Этот же раздел должен содержать также описание организации системы сбора и обработки данных о несоответствиях с анализом причин их возникновения, а также порядок разработки мероприятий по предотвращению их повторения.

12. Корректирующие меры.

Раздел содержит перечень и описание процедур разработки корректирующих мер, а также порядок пересмотра ПОК.

13. Подготовка работников (персонала).

Раздел содержит перечень и описание процедур по организации, анализа программ и ведения документации по подготовке, переподготовке, повышению квалификации и аттестации работников (персонала). Следует отметить, что надлежащая подготовка персонала позволяет значительно снизить влияние «человеческого фактора» на уровень качества при проведении работ по обращению с РАО. В системе обеспечения качества по обращению с РАО (и вообще продукции) вопросам подготовки квалифицированных кадров уделяется первостепенное значение.

14. Проверки.

Раздел содержит описание процедур проведения проверок, предназначенных для установления фактического состояния дел на производстве по реализации ПОК. Он также содержит перечень, содержание и периодичность проведения проверок.

Как видно из содержания ПОК, система обеспечения качества призвана обеспечить *всесторонний и глубокий контроль* за деятельностью эксплуатирующей организации в соответствии с поставленной целью обеспечения качества при обращении с РАО. В зависимости от специфики и этапа обращения с РАО эксплуатирующая организация может включать в ПОК дополнительные разделы, а также требовать от организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги для нее, включения в их ПОК дополнительных разделов, если они необходимы для обеспечения качества реализации операции и/или продукции.

В качестве примера приведем требования обеспечения качества при сборе, переработке, хранении и кондиционировании ТРО, изложенные в НП-020-2000 [62]. Подобные требования по обеспечению качества при переработке, хранении и кондиционировании ЖРО и обращении с ГРО приведены в НП-019-2000 и НП-021-2000 [63],[66].

В НП-020-2000 приведена конкретизация требований к ПОК, применительно к системе обращения с ТРО:

Устройство и надежность систем (элементов) ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения, документация и работы по сбору, переработке, хранению и кондиционированию ТРО должны являться объектами деятельности эксплуатирующих организаций и (или) организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги эксплуатирующим организациям по обеспечению качества в соответствии с ПОК и согласно требованиям ФНП и других нормативных документов.

ПОК должна быть направлена на:

- организацию эффективной системы подготовки, переподготовки, повышения квалификации и аттестации работников (персонала);
- минимизацию образующихся ТРО по величине их активности, массе и объему;
- контроль качества поставляемого оборудования, комплектующих изделий и материалов;
- получение достоверной и полной информации о количественном и качественном составе ТРО в местах их образования, сбора, переработки, хранения и кондиционирования;

– организацию контроля качества проведения технологических процессов при сборе, переработке, хранении и кондиционировании ТРО;

– установление системы критериев качества ТРО, которым ТРО должны отвечать после сбора, переработки, хранения и кондиционирования;

– использование метрологически аттестованных методик контроля качества ТРО и испытаний упаковок кондиционированных отходов;

– организацию контроля качества ТРО и упаковок кондиционированных отходов;

– организацию эффективной системы записей и хранения документации при сборе, переработке, хранении и кондиционировании ТРО, включая идентификационную маркировку упаковок РАО.

В зависимости от стадии обращения с ТРО при установлении критериев качества ТРО должны учитываться основные характеристики ТРО, контейнера и упаковки ТРО.

Характеристики ТРО:

- физическая природа и состав;
- величина суммарной активности;
- радионуклидный состав, величина удельной альфа- и бета-активности, мощность эквивалентной дозы.

Характеристики контейнера ТРО:

- коррозионная стойкость, радиационная стойкость, конфигурация (геометрические размеры) для металлического контейнера;
- плотность, пористость, водопроницаемость, газопроницаемость, морозостойкость, радиационная стойкость, стойкость к микроорганизмам, плесени и грибкам, пожаростойчивость, конфигурация (геометрические размеры) для железобетонного контейнера;
- иные характеристики, определяющие изолирующую способность контейнера.

Характеристики упаковки ТРО:

- радионуклидный состав, величина удельной альфа- и бета-активности, мощность эквивалентной дозы;
- величина суммарной активности;
- однородность (отсутствие пустот);
- механическая прочность (статические, динамические, ударные нагрузки), устойчивость к тепловым нагрузками и термическим

циклом, радиационная устойчивость для упаковок, подготовленных к захоронению.

Система контроля качества ТРО и кондиционированных отходов должна включать контроль качества:

- процесса сбора ТРО;
- ТРО, направляемых на переработку;
- процесса переработки ТРО;
- матричных материалов;
- упаковок кондиционированных отходов.

Объем контроля качества устанавливается в проекте ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения и должен обеспечивать получение достоверной информации о характеристиках ТРО, матричных материалах и упаковках кондиционированных отходов.

В ПОК должен быть установлен порядок и процедуры регистрации нарушений критериев качества ТРО и кондиционированных отходов, а также организации сбора, обработки и анализа данных о нарушениях и причинах их возникновения.

По результатам анализа причин нарушений должны разрабатываться и приниматься корректирующие меры по предотвращению их повторения.

8.3. Сертификация

Важным этапом развития системы обеспечения качества в России явилось вступление в силу в 1993 -1995 гг. блока ФЗ [97]-[99]. Эти законы составляют основу системы обеспечения качества в стране. В 2002 г. ФЗ [98] и [99] утратили свою силу и вошли в состав ФЗ «О техническом регулировании» [78] в измененном виде.

Здесь уместно отметить, что триаду методов и видов деятельности по обеспечению качества и безопасности составляют *метрология, стандартизация и сертификация*, которые являются инструментами обеспечения качества изделий (продукции), работ и услуг. Для отечественного народного хозяйства очень остро стоит вопрос о гармонизации правил по стандартизации, метрологии и сертификации с международными правилами, поскольку это является важным условием вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО) и дальнейшей деятельности нашей страны в рамках

этой организации. В настоящее время проблема гармонизации решается путем принятия ряда законов в области технического законодательства и прежде всего ФЗ [78],[97].

Приведем определения некоторых понятий системы сертификации.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Целями подтверждения соответствия или целями сертификации продукции являются:

- удостоверения соответствия продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, условиям договоров;
- содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;
- повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории РФ, а также для осуществления экономиче-

ского, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Головной организацией в России, призванной регулировать вопросы сертификации, является Федеральная служба по техническому регулированию и метрологии (ранее Госстандарт РФ), которая осуществляет в том числе государственную регистрацию систем сертификации, сертификации соответствия и знаков сертификации.

Технические средства, осуществляющие переработку РАО, и контейнеры для размещения в них РАО в целях хранения, транспортирования или захоронения должны быть сертифицированы, т.е. они должны иметь сертификаты соответствия. Кроме того, в соответствии с положениями ФЗ [78] объектом сертификации могут быть РАО, передаваемые на другие предприятия как в непереработанном виде, и кондиционированные и упакованные, предназначенные для хранения или захоронения.

В 1998 - 2001 годы Госатомнадзор России совместно с Минатомом и Госстандартом России разработали систему нормативных документов по сертификации оборудования, изделий и технологий (система ОИТ), в том числе: Общие положения, Порядок проведения сертификации, Номенклатура оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, подлежащих обязательной сертификации, Порядок проведения сертификации систем качества (производств) и других, всего свыше 20 документов ОИТ [101]. В настоящее время на объектах ИАЭ действуют системы обязательной сертификации оборудования, изделий и технологий [100].

8.4. Критерии приемлемости РАО

Как уже отмечалось, вся система обращения с РАО направлена на успешное осуществление конечной операции в системе обращения с РАО – их захоронение, которое должно быть надежным в течение всего срока потенциальной опасности РАО. Для этого кондиционированные отходы, размещаемые в ПЗРО, должны отвечать ряду требований по обеспечению качества (критериям приемлемо-

сти), которые установлены в Федеральных нормах и правилах НП-019-2000 и НП-020-2000 [62],[63].

Способы и методы выполнения требований по обеспечению качества при обращении с РАО приведены в руководстве по безопасности Ростехнадзора РБ-023-02 [102]. Следует отметить, что термин «приемлемость» используемый в документах Ростехнадзора, более удобен, чем термин «качество РАО», поскольку последний не вполне согласуется с понятием «отходы» (например, «качественные кондиционированные отходы»). Термин «приемлемые РАО» включает их соответствие требуемой документации и пригодность их для проведения операций по хранению и (или) захоронению, аналогичен понятию «РАО, получившие сертификат соответствия».

Прежде чем перейти к перечню и характеристикам критериев приемлемости, рассмотрим некоторые общие вопросы, связанные с контролем качества перед захоронением и прежде всего с кондиционированием РАО.

Кондиционирование РАО – это операции по изготовлению упаковок отходов, пригодных для безопасного хранения и (или) захоронения. Кондиционирование РАО является последней операцией подготовки РАО к захоронению и может включать ряд методов, в том числе:

- размещение переработанных ТРО (ЖРО) в одинарном или двойном контейнере;
- размещение переработанных ТРО (ЖРО) в контейнере;
- размещение отвержденных ЖРО в контейнере;
- размещение и омоноличивание ТРО в контейнере;
- размещение упаковки РАО в дополнительном контейнере.

При оценке и выборе методов кондиционирования должен учитываться ряд факторов, связанных с характеристиками РАО, и прежде всего форма РАО, определяющая свойства физических барьеров. Для отвержденных ЖРО или омоноличенных ТРО форма РАО является первым физическим барьером, а контейнер – вторым физическим барьером. Контейнер служит единственным барьером в случае помещения в него переработанных РАО.

С целью повышения уровня безопасности при хранении и захоронении РАО предпочтение следует отдавать следующим методам кондиционирования РАО:

- размещение отвержденных ЖРО в контейнере;
- размещение и омоноличивание ТРО в контейнере.

Таким образом, предпочтительным является захоронение ТРО и отвержденных РАО в контейнере, и нежелательным является захоронение непереработанных ТРО и ЖРО, даже в двух контейнерах, переработанных, но не омоноличенных ТРО и ЖРО.

Контейнеры. Кондиционированные РАО перед захоронением, как правило, помещаются в контейнеры, специально предназначенные для целей хранения и захоронения и имеющие соответствующий сертификат соответствия.

Выбор конструкции контейнера (размеры, механическая прочность, тип уплотнения, строповочные устройства) и материалов, из которых сделан контейнер, осуществляется, исходя из выполняемых функций контейнера и требуемого периода сохранения целостности контейнера. Конструкционные материалы контейнеров и материалы, используемые для покрытия поверхностей контейнеров, должны обладать следующими характеристиками (требования приемлемости к контейнерам): минимальной сорбционной способностью по отношению к радионуклидам, коррозионной и радиационной стойкостью, термической устойчивостью, легко дезактивироваться.

Контейнер должен обеспечивать возможность:

- предотвращения неприемлемого распространения радионуклидов из упаковки РАО;
- хранения РАО в течение не менее 30 лет;
- извлечения упаковки РАО из хранилища в конце периода хранения;
- размещения упаковки РАО в дополнительном контейнере при необходимости;
- транспортирования упаковки РАО на захоронение;
- обращения с упаковкой РАО при захоронении.

Критерии приемлемости кондиционированных РАО. В качестве критериев приемлемости кондиционированных РАО для их хранения и захоронения предлагается учитывать ряд основных характеристик РАО. Для понимания роли того или иного критерия, в табл. 1.8 приведено краткое обоснование необходимости учета данного критерия.

Таблица 8.1

Критерии приемлемости кондиционированных отходов и их влияние
на безопасность хранения и захоронения РАО

Критерии приемлемости РАО	Влияние характеристик РАО на безопасность хранения и захоронения
Суммарная активность упаковки РАО, удельная активность РАО и радионуклидный состав	Для каждого хранилища РАО устанавливаются верхние пределы удельной активности радионуклидов в РАО, суммарной активности РАО в отдельных упаковках РАО и суммарной активности радионуклидов для хранилища РАО в целом
Мощность эквивалентной дозы	Величина мощности эквивалентной дозы используется при выборе типа контейнера и при проектировании хранилища РАО с целью защиты работников и населения от внешнего ионизирующего излучения
Поверхностное загрязнение	Уровни снимаемого поверхностного загрязнения упаковки РАО не должны превышать допустимых пределов на всех этапах обращения с упаковкой
Структурная стабильность формы РАО	Форма РАО должна обладать достаточными прочностными характеристиками, чтобы выдерживать нагрузки, возникающие на различных этапах обращения с РАО, и сохранять геометрические размеры. Форма РАО должна быть устойчивой к любым химическим, биологическим, радиационным и тепловым воздействиям, наличие которых разумно предположить
Водоустойчивость формы отвержденных РАО	С целью ограничения распространения радионуклидов из хранилища РАО на приемлемом уровне скорость выщелачивания радионуклидов из формы отвержденных РАО должна быть ограничена
Содержание коррозионно-активных веществ	РАО не должны содержать вещества, которые могут привести к коррозии контейнеров или других физических барьеров хранилища РАО
Тепловыделение	Тепловыделение кондиционированных РАО не должно приводить к изменениям физических, химических и механических свойств упаковок РАО и снижению эффективности физических барьеров хранилища РАО. Упаковка РАО, тепловыделение которой может привести к разрушению защитных функций хранилища РАО, не может быть принята на хранение и захоронение
Термическая устойчивость	Форма РАО должна сохранять свои физические и химические свойства при воздействии прогнозируемых при хранении и захоронении РАО температур
Радиационная стойкость	Форма РАО должна сохранять свои характеристики при прогнозируемой мощности дозы излучения

Газообразование	Газы могут образовываться за счет радиоактивного распада, радиолиза, биохимических процессов в РАО, химических реакций и приводить к увеличению давления в контейнерах, нарушению целостности физических барьеров и распространению радионуклидов в окружающей среде
Биологическая устойчивость	Биологическое воздействие на компоненты РАО или матричного материала не должно приводить к нарушению структурной стабильности формы РАО
Содержание свободной влаги в упаковке	Свободная влага увеличивает возможность выхода радионуклидов из упаковки РАО. Присутствие свободной влаги в упаковке РАО должно быть исключено или ограничено
Содержание веществ, образующих комплексные соединения	Образование комплексных соединений в РАО может привести к увеличению подвижности радионуклидов и их распространению в окружающую среду
Содержание взрывоопасных и самовозгорающихся веществ	Упаковки РАО, содержащие взрывоопасные и (или) самовозгорающиеся вещества, не могут быть приняты на хранение и захоронение
Содержание веществ, реагирующих с водой с выделением тепла и образованием горючих газов	Упаковки РАО, содержащие вещества, реагирующие с водой с выделением тепла и образованием горючих газов, не могут быть приняты на хранение и захоронение
Содержание ядовитых веществ, химически токсичных веществ, патогенных и инфекционных материалов	Содержание ядовитых веществ, химически токсичных веществ, патогенных и инфекционных материалов в упаковке РАО должно быть известно с достаточной степенью точности и должно быть ограничено. Упаковки РАО, содержащие химические вещества с токсиметрическими характеристиками, соответствующими I классу (чрезвычайно опасные) и II классу (высокоопасные), не подлежат приему на хранение и захоронение
Содержание ядерных материалов	Содержание ЯМ в упаковке РАО должно быть ограничено, чтобы исключить возможность возникновения СЦП при хранении и захоронении упаковки (упаковок) РАО
Конфигурация упаковки РАО	С целью упрощения обращения с упаковками РАО рекомендуется стандартизация конфигурации (геометрические размеры и масса) упаковки РАО
Идентификация упаковки РАО	Маркировка (номер, обозначение, цвет и т.п.) каждой упаковки РАО должна обеспечивать возможность идентификации каждой упаковки РАО и ее содержимого

В РБ-023-02 приведены рекомендуемые сферы применимости характеристик РАО отдельно для *хранения* и отдельно для *захоронения* (этапы эксплуатации и закрытия ПЗРО приповерхностного и подземного типов).

Контроль качества и методы контроля. Целью контроля качества кондиционированных РАО является доказательство (установление) того, что характеристики кондиционированных РАО соответствуют критериям приемлемости РАО для их хранения и захоронения.

Для получения наиболее надежных результатов контроля качества целесообразно использовать комбинацию следующих подходов:

- деление характеристик РАО по их кондиционированию;
- деление характеристик представительных проб (образцов) кондиционированных РАО;
- контроль соответствия параметров процессов переработки и кондиционирования РАО заданным проектным величинам;
- использование для контроля характеристик РАО неразрушающих методов контроля;
- использование для оценок характеристик РАО расчетных количественных методов;
- визуальный осмотр упаковок

Объем контроля РАО устанавливается в проекте ядерной установки, радиационного источника или хранилища РАО и обосновывается в ООБ соответствующего объекта ИАЭ.

Предпочтительными являются неразрушающие методы контроля, если они обеспечивают необходимую точность измерения. Разрушающие методы контроля РАО неизбежно приводят к появлению вторичных РАО, которые необходимо собрать и вернуть в начало переработки системы обращения с РАО на данном объекте.

Рекомендации по методам и методикам контроля характеристик РАО приведены в РБ-023-02. Там же приведен перечень сопроводительной документации на упаковки РАО, направляемые на хранение и захоронение, и информация, которая должна содержаться в этой документации. Срок хранения документации определяется

проектом на ПЗРО, но не менее, чем период потенциальной опасности ПЗРО.

В заключение следует отметить, что пристальное внимание зарубежных стран к вопросам обеспечения качества, позволяет достигнуть не только высоких технических характеристик продукции (отходов), но и высокой степени надежности и безопасности. Это возможно при условии проведения системы научных, технических и организационных мероприятий по управлению качеством продукции на всех стадиях ее жизненного цикла. Для того чтобы управлять качеством, прежде всего, необходимо уметь это качество оценивать, а в идеальном случае – измерять. В настоящее время оценка качества, в основном, базируется на методах экспертных оценок, так как, оцениваемые характеристики продукции, изделий, проектов, технологий довольно разнородны и часто не поддаются измерению. Поскольку оценку качества приходится проводить в условиях неопределенности информации по безопасности различных показателей продукции и нечеткости оценок, даваемых экспертами, то для целей квалиметрии могут быть использованы одновременно экспертные методы и различные аналитические расчеты.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию качества при обращении с РАО.
2. Какие государственные (национальные) стандарты составляют основу обеспечения качества.
3. Что такое система обеспечения качества?
4. Дайте характеристику ПОК при обращении с РАО и назовите основные разделы этой программы.
5. Что такое сертификация?
6. Что такое подтверждение соответствия?
7. Когда организована система сертификации оборудования, изделий и технологий (ОИТ) в Госкорпорации «Росатом» и какие основные документы регламентируют деятельность этой системы?
8. Что такое «критерии приемлемости РАО» для их хранения и захоронения?

9. Составьте список критериев приемлемости РАО для целей приповерхностного захоронения РАО.

10. С чем связано требование по ограничению содержания влаги в упаковках?

11. Какие ограничения накладываются на содержание ядерного материала?

12. Чем опасно чрезмерное тепловыделение РАО в объеме хранилища?

Глава 9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАО ДО ЗАХОРОНЕНИЯ

Требования безопасности при обращении с ТРО, ЖРО и ГРО изложены соответственно в нормативных документах НП-020-2000, НП-019-2000, НП-021-2000 [62],[63],[66]. Эти документы разработаны в одном блоке и поэтому гармонизированы как по форме, так и по содержанию.

В гл. 7 и 8 были изложены общие требования по обеспечению безопасности при обращении с РАО любого агрегатного состояния, в том числе общие требования по обеспечению качества. Ниже рассматриваются *некоторые основные (конкретные)* требования по безопасности при обращении с ТРО, ЖРО и ГРО, связанные с их подготовкой к хранению и захоронению. Более подробные сведения о требованиях по обращению с РАО читатель может получить, изучив указанные выше нормативные документы. Полный перечень способов обработки РАО, применяемых на объектах ИАЭ, приведен в [1].

После выхода указанных выше требований по обращению со всеми видами РАО в МАГАТЭ в 2003 г. был опубликован документ № WS-R-2 [103], рекомендации которого не противоречат отечественным ФНП и дополняют их в части общего подхода к вопросам обращения с РАО и взаимодействия оператора, государства и регулирующего органа.

9.1. Требования безопасности при сборе, переработке, хранении и кондиционировании твердых РАО

При сборе твердых РАО (ТРО) должна обязательно производиться сортировка отходов с учетом их дальнейшей переработки, а также в соответствии с удельной активностью и радионуклидным составом (особенно по альфа-излучающим радионуклидам).

Для сбора РАО в организации должны быть выделены специальные сборники-контейнеры. Для первичного сбора ТРО могут использоваться пластиковые или бумажные мешки, которые затем загружаются в сборники-контейнеры. Мешки из полимерной пленки должны быть механически прочными, максимально устой-

чивыми к воздействию низких температур и иметь шнур для плотного затягивания верха мешка после его заполнения. При размещении отходов в мешках во всех случаях следует принимать меры, предотвращающие возможность их механических повреждений острыми, колющими и режущими предметами. Заполнение сборников-контейнеров РАО должно производиться под радиационным контролем в условиях, исключающих возможность их рассыпания.

Поверхности, не подлежащих переработки металлических ТРО больших размеров, должны быть дезактивированы и покрыты пленками, предотвращающими распространение радионуклидов в окружающую среду.

Металлические ТРО с низким уровнем удельной активности и поверхностного загрязнения, при необходимости, должны быть дезактивированы. По результатам радиационного контроля эти ТРО могут направляться на дальнейшую переработку, хранение и (или) захоронение, либо исключаться из категории РАО.

По методу переработки ТРО делятся на сжигаемые, прессуемые, измельчаемые, переплавляемые и неперерабатываемые

Сжигание. С целью уменьшения объема горючих ТРО и исключения пожароопасности при их хранении, транспортировании и захоронении должно производиться их сжигание.

При сжигании ТРО должны быть предусмотрены:

- очистка газов, образующихся при сжигании ТРО, от радиоактивного загрязнения и химически вредных веществ до уровней, определяемых НРБ-99/2009 и ФНП;

- контроль параметров процесса сжигания, в том числе: температуры и давления (разрежения) в печи сжигания, содержания взрывоопасных компонентов, радионуклидного состава выбрасываемых газов;

- автоматическое и (или) дистанционное управление процессом сжигания;

- дезактивация оборудования и помещений;

- системы пожароизвещения и пожаротушения.

Технологический режим процесса сжигания ТРО должен обеспечивать полное окисление промежуточных продуктов сгорания и пиролиза.

Направляемые на сжигание ТРО должны проходить входной контроль. Не подлежат сжиганию ТРО, содержащие взрывоопас-

ные вещества. В сжигаемых ТРО должно быть ограничено содержание поливинилхлорида и других материалов, в результате сжигания которых образуются агрессивные и токсичные вещества в количестве, превышающем пределы, установленные нормативными документами. Содержание радионуклидов C^{14} , I^{129} и H^3 в сжигаемых ТРО не должно приводить к превышению допустимого выброса радиоактивных веществ из печи сжигания в атмосферу. Образовавшаяся в результате сжигания ТРО зола должна быть переведена в монолитную форму.

Прессование. С целью уменьшения объема несжигаемых ТРО должно производиться их прессование. При прессовании должны быть предусмотрены:

- предотвращение выброса пыли и радиоактивных аэрозолей в атмосферу;
- отвод и сбор влаги, выделяющейся из прессуемых ТРО;
- упаковки прессованных отходов в контейнеры;
- автоматическое и/или дистанционное управление технологическим процессом.

ТРО, направляемые на прессование, должны проходить входной контроль. Прессование ТРО совместно с нерадиоактивными отходами не допускается. Прессованию не подлежат ТРО, содержащие: более 1 % влаги от массы отходов; пирофорные и взрывоопасные вещества в количестве, которое может привести при сжатии к взрыву; ядерно-опасные делящиеся материалы в количестве, которое может привести при сжатии к СЦР.

Измельчение. Для уменьшения объема несжигаемых и непрессуемых ТРО должно производиться их измельчение путем резки или дробления. При измельчении ТРО должна быть предусмотрена очистка воздуха в помещении от радиоактивной пыли и аэрозолей, исключая поступление радиоактивных веществ в рабочее помещение и в окружающую среду в количестве, приводящем к превышению дозовых пределов, устанавливаемых санитарными правилами и нормами, гигиеническими нормативами, ФНП.

Для уменьшения объема металлических ТРО должна производиться их дезактивация.

Переплавка. С целью уменьшения объема металлических ТРО и частичной или полной их дезактивации за счет вывода радионуклидов в шлак производится их переплавка. При переплавке метал-

лических ТРО должен быть предусмотрен радиационный контроль ТРО, характеристик газов, выходящих из печи, технологических характеристик печи и др.

ТРО, направляемые на переплавку, должны быть в максимальной степени очищены от органических покрытий и неорганических материалов и при необходимости должны измельчаться (фрагментироваться) до размеров, обеспечивающих возможность их загрузки в плавильную печь. Для измельчения металлических ТРО могут использоваться методы и средства механической резки, термической (газоплазменной, плазменной и др.) резки, взрыва, а также другие средства и методы, обеспечивающие минимальное загрязнение радиоактивными веществами поверхностей и воздуха рабочих помещений.

При плавлении ТРО должна быть обеспечена очистка отходящих газов от радионуклидов до уровней, определяемых санитарными правилами и нормами и гигиеническими нормативами, ФНП, а также от химически вредных веществ, выброс которых в окружающую среду регламентирован.

Образующиеся при плавлении металлических ТРО вторичные РАО (шлак, использованные огнеупорные материалы, отработавшие фильтры, системы очистки газов и др.) подлежат сбору, хранению, переработке и кондиционированию в соответствии с требованиями настоящего документа.

Кондиционирование ТРО должно обеспечивать перевод ТРО в формы, пригодные для последующего транспортирования и (или) хранения, и (или) захоронения.

В зависимости от характеристик ТРО и способов последующего обращения с кондиционированными ТРО, в том числе их транспортирования и (или) переработки, и хранения, и (или) захоронения, кондиционирование ТРО должно включать в себя одну из следующих операций или их совокупность:

- размещение ТРО в контейнере;
- размещение и омоноличивание ТРО в контейнере;
- размещение упаковки ТРО в дополнительном контейнере, где под упаковкой РАО понимается упаковочный комплект (контейнер) с помещенными в него РАО, подготовленный для транспортирования и (или) хранения, и (или) захоронения.

При установлении методов и средств кондиционирования ТРО должны учитываться:

- характеристики ТРО, подлежащих кондиционированию;
- способы последующего обращения с кондиционированными ТРО, в том числе их переработка и (или) транспортирование, хранение, и (или) захоронение;
- установленные для последующего обращения с ТРО критерии качества.

Радионуклидный состав, удельная активность радионуклидов, суммарная величина активности в упаковке РАО, мощность эквивалентной дозы на поверхности контейнера, величина радиоактивного загрязнения наружной поверхности контейнера должны соответствовать критериям качества ТРО для последующего этапа обращения с ними. Упаковка РАО должна предотвращать неприемлемое распространение радионуклидов в окружающую среду.

Показатели качества упаковок омоноличенных ТРО должны соответствовать показателям качества отвержденных ЖРО.

Упаковка кондиционированных ТРО не должна содержать:

- сильных окислителей и химически неустойчивых веществ;
- коррозионно-активных веществ;
- ядовитых, патогенных и инфекционных веществ;
- биологически активных веществ;
- легковоспламеняющихся, взрыво- и пожароопасных веществ;
- веществ, способных к детонации или взрывному разложению;
- веществ, вступающих в экзотермическое взаимодействие с водой, сопровождающееся взрывом;
- веществ, содержащих или способных генерировать токсичные газы, пары или возгоны.

Содержание влаги в упаковке РАО не должно превышать 3%.

Выбор конструкции контейнера и конструкционных материалов контейнера должен быть основан на физических и химических характеристиках ТРО, способах последующего обращения с упаковкой ТРО, на установленных для последующего обращения с ТРО критериях качества.

Конструкция контейнера и конструкционные материалы контейнера должны обеспечивать сохранение его целостности и работоспособности, в том числе прочностных характеристик, в период последующего этапа обращения с упаковкой ТРО.

Конструкционные материалы контейнера и использованные для покрытия его поверхностей материалы должны обеспечивать защиту от атмосферных воздействий и возможность проведения дезактивации. Если проектом ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения не установлены способ, место и конкретные сроки захоронения кондиционированных ТРО, то используемый контейнер должен сохранять целостность в течение ожидаемого периода хранения до захоронения и предотвращать неприемлемое распространение радионуклидов из упаковки РАО. Контейнер должен обеспечивать возможность: извлечения упаковки РАО из хранилища в конце периода хранения; размещения его в дополнительный контейнер; транспортирования упаковки РАО на захоронение; обращения с упаковкой РАО при захоронении.

Если упаковка РАО не соответствует установленным критериям качества РАО для транспортирования и (или) хранения, и (или) захоронения, то с целью исключения несоответствия должен быть использован дополнительный контейнер.

Контейнеры РАО и упаковки РАО, предназначенные для длительного хранения и (или) захоронения, подлежат обязательной сертификации.

Хранение кондиционированных ТРО должно осуществляться в специально оборудованных хранилищах с системой барьеров, предотвращающей поступление радионуклидов в окружающую среду выше пределов, установленных санитарными правилами и нормами, гигиеническими нормативами, ФНП.

Хранение ТРО должно: исключать необоснованное облучение работников (персонала); облучение населения выше установленных пределов; поступление радионуклидов в окружающую среду выше пределов, установленных санитарными правилами и нормами, гигиеническими нормативами, ФНП.

В проекте ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения должны быть предусмотрены технические средства и организационные меры по безопасному хранению ТРО, а также установлены и обоснованы допустимые объемы ТРО, их радионуклидный состав, величина активности и сроки хранения ТРО.

Допустимая продолжительность хранения отработавших закрытых радионуклидных источников должна определяться состоянием их оболочки, временем сохранения защитных свойств матричного

материала, типом хранилища и временем сохранения барьерами защитных функций.

Хранение больших объемов ТРО должно производиться в специально оборудованных хранилищах или на специально созданных площадках с системой барьеров, предотвращающих поступление радионуклидов в окружающую среду в количествах, превышающих пределы, установленные санитарными правилами и нормами, гигиеническими нормативами, ФНП. Требования к барьерам на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду устанавливаются ФНП.

Конструкция и конструкционные материалы хранилища ТРО должны: предотвращать выход радионуклидов в окружающую среду в количестве, превышающем пределы, установленные санитарными правилами и нормами, гигиеническими нормативами, ФНП; обеспечивать срок службы хранилища не менее срока эксплуатации ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения.

В хранилищах ТРО должны быть предусмотрены технические средства для:

- дезактивации внутренних поверхностей хранилища;
- осмотра, ревизии и извлечения ТРО из хранилища;
- дистанционного управления перемещением контейнеров с ТРО в случае повышенных мощностей эквивалентных доз;
- сбора и удаления влаги из хранилища;
- пожаротушения и пожарной сигнализация (для горючих ТРО);
- вентиляции;
- радиационного контроля.

В хранилищах для ТРО с высоким уровнем активности должен быть дополнительно предусмотрен: контроль температуры воздуха в хранилище, содержания водорода в воздухе хранилища, содержания радионуклидов в воздухе хранилища, а также охлаждение размещенных в хранилище ТРО.

На территории вокруг хранилищ ТРО должны быть предусмотрены контрольно-наблюдательные скважины для отбора проб грунтовых вод. Количество и расположение наблюдательных скважин устанавливаются и обосновываются в проекте ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения.

Хранение незначительных объемов ТРО должно осуществляться в специально оборудованных помещениях. Расположение и оборудование помещений для хранения незначительных объемов ТРО, условия их хранения должны соответствовать требованиям ОСПОРБ–99/2010, а также других ФНП.

9.2. Требования безопасности при сборе, переработке, хранении и кондиционировании жидких РАО

Сбор жидких РАО (ЖРО). Органические взрыво- и пожароопасные ЖРО должны собираться отдельно от других видов ЖРО. При сборе неорганических ЖРО должны собираться раздельно:

- малосолевые водные растворы (с концентрацией солей менее 1 г/л);
- высокосолевые водные растворы (более 1 г/л);
- щелочные металлы, использованные в качестве теплоносителя;
- сильные окислители;
- коррозионно-активные вещества;
- химически неустойчивые вещества;
- ионообменные смолы;
- перлит, вермикулит и др.;
- титановые сорбенты;
- шламы.

Для сбора ЖРО должна быть предусмотрена система специальной канализации (спецканализация). Если количество образующихся ЖРО не превышает 200 л/сут, для их сбора могут использоваться контейнеры.

Сброс ЖРО в хозяйственно-фекальную канализацию, производственно-ливневую канализацию, в поверхностные водоемы, поглощающие ямы, колодцы, скважины, на поля орошения, поля фильтрации и на поверхность земли *запрещается*.

Переработка ЖРО должна обеспечивать очистку жидкой фазы ЖРО и концентрирование радионуклидов в меньшем объеме. Не допускается полное обезвоживание высокосолевых водных растворов ЖРО в случае возможного экзотермического взаимодействия компонентов сухого остатка ЖРО.

При передаче (транспортировании) солевых концентратов (кубовых остатков) ЖРО к месту их хранения и отверждения должны быть приняты меры по предотвращению образования отложений в трубопроводах и оборудовании.

Образующиеся в результате переработки ЖРО солевые концентраты, отработавшие сорбенты, шламы, осадки должны быть кондиционированы.

Если концентрация радионуклидов и вредных веществ в образующихся в результате переработки ЖРО очищенных водах не превышает допустимых концентраций, установленных в соответствии с требованиями санитарных правил и норм, гигиенических нормативов, ФНП, то они могут быть использованы для собственных нужд в системе оборотного водоснабжения ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения или сбрасываться в открытую гидросеть через промежуточную контрольную емкость.

При хранении ЖРО должно обеспечиваться исключение необоснованного облучения работников выше установленных пределов (персонала), населения, поступления радионуклидов в окружающую среду. В проекте ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения должны быть предусмотрены технические средства и организационные меры по безопасному хранению ЖРО, а также установлены и обоснованы допустимые объемы ЖРО, их радионуклидный состав, величина активности и сроки хранения.

Хранение больших объемов ЖРО должно осуществляться в специально оборудованных хранилищах с системой барьеров, предотвращающей поступление радионуклидов в окружающую среду выше пределов, установленных ФНП, а также другими нормативными документами. Конструкция и конструкционные материалы хранилищ ЖРО должны: предотвращать выход радионуклидов в окружающую среду выше пределов, установленных ФНП, и обеспечивать срок службы хранилищ ЖРО не менее срока эксплуатации ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения, на котором оно размещено.

Объем емкостей хранилищ ЖРО должен обеспечивать необходимую технологическую выдержку ЖРО до их переработки и (или) распада короткоживущих радионуклидов. Емкости для хранения ЖРО должны быть оснащены:

— трубопроводами и арматурой для приема ЖРО, направления их на кондиционирование, полного опорожнения;

— средствами контроля технологических параметров (температуры, давления, уровня в емкости), включая системы сигнализации о превышении верхнего уровня в емкости и контроля протечек ЖРО из емкости;

— средствами радиационного контроля;

— пробоотборными устройствами, позволяющими производить отбор проб по всему объему емкости;

— устройствами для определения толщины (высоты) осадка;

— устройствами для диспергирования и удаления шлама (осадка) и отложений;

— оборудованием и трубопроводами для передачи растворов, шламов, сорбентов и смол из одной емкости в другую;

— трубопроводом перелива, объединенным с резервной емкостью, с диаметром большим, чем у приемного трубопровода;

— технологической сдувкой под разрежением, связанной с системой технологических сдувок и предотвращающей образование повышенного давления в свободном объеме емкости;

— средствами контроля водорода, предупредительной и аварийной сигнализацией, автоматическими средствами пожароизвещения и при необходимости пожаротушения;

— устройствами, не допускающими повреждение емкости из-за повышения в них давления или их вакуумирования.

В емкостях для хранения *ЖРО высокого уровня активности* должны быть дополнительно предусмотрены технические методы и средства для предотвращения разогрева и выпаривания ЖРО и накопления взрывоопасных газообразных веществ.

Водно-химический режим в емкостях для хранения ЖРО должен исключать интенсивные коррозионные процессы. Конструкция емкости для хранения ЖРО должна позволять поиск мест протечек из емкости и выполнение ее ремонта.

Передача ЖРО из одной емкости для хранения в другую должна осуществляться с использованием статического давления жидкости или газа (без применения насосов).

Помещения, предназначенные для размещения емкостей для хранения ЖРО, должны иметь не менее чем трехслойную гидроизоляцию и облицовку из нержавеющей стали. Объем облицован-

ного помещения должен вмещать все количество ЖРО, находящееся в емкостях.

На территории вокруг помещений с емкостями для хранения ЖРО должны быть предусмотрены контрольно-наблюдательные скважины для отбора проб грунтовых вод. Количество и расположение наблюдательных скважин устанавливается в соответствии с нормативными документами.

В помещениях, в которых находятся емкости для хранения ЖРО, должны быть предусмотрены: сигнализация протечек из емкостей; система сбора и возврата протечек; вентиляция; радиационный контроль; средства для дезактивации.

Помещения, в которых находятся емкости с органическими ЖРО, должны быть снабжены устройствами пожарной сигнализации и средствами пожаротушения. Совместное хранение в помещениях органических ЖРО со средами, содержащими окислители, не допускается.

Проектом ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения должны быть предусмотрены резервные емкости для хранения ЖРО, образовавшихся в результате аварий. Минимальный резервный объем емкостей для хранения ЖРО должен быть обоснован в проекте. На резервные емкости для хранения ЖРО и помещения, в которых они находятся, распространяются те же требования, что и на основные емкости для хранения ЖРО.

Хранение малых объемов ЖРО должно осуществляться в специально оборудованных помещениях. Расположение помещений для хранения малых объемов ЖРО, их оборудование, условия хранения должны соответствовать требованиям ОСПОРБ–99/2010.

Отверждение ЖРО. Технологический процесс отверждения ЖРО должен обеспечивать получение продуктов с показателями качества, установленными в НП-019-2000. Конкретные технические методы и средства отверждения ЖРО устанавливаются и обосновываются в проекте ядерной установки, радиационного источника и пункта хранения. Отверждение ЖРО должно производиться методами *цементирования, битумирования и остекловывания*.

При выборе метода отверждения ЖРО должны учитываться: физические и химические характеристики ЖРО, свойства матричного материала и предполагаемый способ хранения и (или) захоро-

нения кондиционированных отходов. Процесс отверждения ЖРО должен быть пожаро- и взрывобезопасным и не сопровождаться образованием значительного количества вторичных РАО. Допускается использование других методов отверждения ЖРО, разработанных в соответствии с достигнутым уровнем науки и техники.

При отверждении ЖРО методом цементирования должны выполняться следующие основные требования: установка цементирования должна находиться в отдельном помещении, снабженном системой вентиляции; используемые неорганические вяжущие материалы (цемент, портландцемент, шлакопортландцемент и др.) должны обеспечивать качество цементной матрицы в соответствии с требованиями НП-019-2000. В цементную матрицу не могут включаться ЖРО, содержащие вещества, взаимодействующие с цементом с образованием токсичных веществ (например, соли аммония).

С целью предотвращения разлива в помещении цементного компаунда при его расфасовке в контейнеры должен быть предусмотрен контроль размещения контейнера для цементного компаунда под сливным патрубком и контроль заполнения емкости цементным компаундом. Необходимо также устройство, исключающее возможность разлива во время транспортирования контейнера с цементным компаундом от места заполнения до места выдержки для отверждения.

Оборудование для перемешивания цементного теста с ЖРО должно обеспечивать получение однородного цементного компаунда с равномерным распределением радионуклидов по его объему.

При цементировании должно быть обеспечено управление технологическими параметрами процесса и их контроль, обеспечивающие получение цементного компаунда с основными показателями качества, приведенными в табл. 9.1.

При отверждении ЖРО методом битумирования установка битумирования должна находиться в отдельном помещении, снабженном системой вентиляции, пожарной сигнализацией и средствами пожаротушения, а используемый в качестве матричного материала битум должен отвечать следующим основным требованиям:

- температура вспышки – не ниже 200°С;
- температура воспламенения – не ниже 250°С;

– температура самовоспламенения – не ниже 400°С.

Таблица 9.1

Качество цементного компаунда

Показатель качества	Допустимые значения
Удельная активность компаунда: бета-излучение альфа-излучение	Менее $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг ($1 \cdot 10^{-3}$ Ки/г) Менее $3,7 \cdot 10^7$ Бк/кг ($1 \cdot 10^{-6}$ Ки/г)
Водоустойчивость (скорость выщелачивания радионуклидов по цезию-137 и стронцию-90)	Менее $1 \cdot 10^{-3}$ г/см ² сут
Механическая прочность (предел прочности при сжатии)	Более 50 кгс/см ²
Радиационная стойкость	Механическая прочность не менее 50 кгс/см ² после облучения дозой 10^6 Гр
Стойкость к термическим циклам	Механическая прочность не менее 50 кгс/см ² после 30 циклов замораживания и оттаивания (минус 40 ... +40°С)
Водостойкость	Механическая прочность не менее 50 кгс/см ² после 90-дневного погружения в воду

Примечание. Под стойкостью при внешнем воздействии понимается изменения характеристик отвержденных РАО после воздействия, а под устойчивостью - в процессе этого воздействия. Это примечание относится также к табл. 9.2 и 9.3.

В битумную матрицу не должны включаться ЖРО, компоненты которых вступают с ней в химическое взаимодействие, сопровождающееся экзотермическими эффектами, образованием токсичных или взрывоопасных веществ, ухудшением качества образующегося компаунда.

Солевые концентраты, направляемые на битумирование, должны удовлетворять следующим требованиям:

- концентрация сильных окислителей (нитраты трехвалентных металлов, марганцевокислый калий и т.п.) в ЖРО не должна превышать 5 % от массы сухого остатка;
- содержание нитрата аммония в ЖРО не должно превышать 12 % от массы сухого остатка;
- величина pH ЖРО должна находиться в пределах 6,5-11,5;
- удельная активность жидких РАО не должна превышать $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/дм³.

ЖРО не должны содержать органических веществ, которые в условиях проведения процесса битумирования могут образовать легколетучие соединения в количествах, способных создать взрывоопасную концентрацию в газовой фазе. Должен быть обеспечен контроль за содержанием таких соединений в отходящих газах. С целью предотвращения разлива в помещении битумного компаунда при его расфасовке должен быть предусмотрен контроль размещения контейнера для битумного компаунда под сливным патрубком и заполнения емкости битумным компаундом, также устройство, исключающее возможность разлива во время транспортирования контейнера с битумным компаундом от места заполнения до места выдержки для остывания.

Таблица 9-2

Качество битумного компаунда

Показатель качества	Допустимые значения
Удельная активность компаунда: бета-излучение альфа-излучение	Менее $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг ($1 \cdot 10^{-3}$ Ки/г) Менее $3,7 \cdot 10^7$ Бк/кг ($1 \cdot 10^{-6}$ Ки/г)
Водоустойчивость (скорость выщелачивания радионуклидов по цезию-137 и стронцию-90)	Менее $1 \cdot 10^{-3}$ г/см ² ·сут
Содержание свободной влаги в компаунде	Менее 3 %
Термическая устойчивость и стойкость	Температура вспышки более 200 °С Температура воспламенения Более 250 °С; Температура самовоспламенения более 400 °С
Радиационная стойкость	Увеличение объема менее 10 % после облучения дозой 10^6 Гр (10^8 рад)
Биологическая устойчивость	Отсутствие роста грибов

Параметры процесса битумирования должны обеспечивать получение гомогенного битумного компаунда с равномерным распределением по его объему радионуклидов.

При битумировании должно быть обеспечено управление технологическими параметрами процесса и их контроль, обеспечивающих получение битумного компаунда с основными показателями качества, приведенными в табл. 9.2.

Таблица 9.3

Качество стеклоподобного материала

Показатель качества	Допустимые значения
Состав отвержденных ЖРО	Менее 24 – 27 % мас. Na_2O и оксидов одновалентных нуклидов; Менее 20 - 24% мас. Al_2O_3 и оксидов многовалентных нуклидов, в том числе менее 0,2 % массы трансурановых элементов; менее 50 – 52 % мас. P_2O_5
Однородность	Равномерность состава блока по макрокомпонентам в пределах $\pm 10\%$; Отсутствие выделения дисперсных фаз, особенно для альфа-излучателей. Количество альфа-излучателей менее 0,2 % мас.
Тепловыделение	менее 5 кВт /м ³
Водоустойчивость (скорость выщелачиваемости по цезию, стронцию и плутонию)	10^{-5} - 10^{-6} г/см ² ·сутки цезия-137; 10^{-6} г/см ² ·сутки стронция-90; 10^{-7} г/см ² ·сутки плутония
Термическая стойкость	Отсутствие изменений структуры и водостойкости в результате хранения при температуре до 450 °С
Радиационная стойкость	Неизменность структуры и водоустойчивости при значениях: а) дозы $\sim 10^8$ Гр (по бета, гамма-излучению), б) 10^{18} - 10^{19} альфа-распадов/см ³
Механическая прочность: Прочность на сжатие Прочность на изгиб Модуль Юнга	(0,9 - 1,3) кгс/мм ² ; (0,9 – 3) · 10 ⁷ Н/м ² (4,1 - 4,7) кгс/мм ² ; (4,1 – 4,7) · 10 ⁷ Н/м ² более 5400 кгс/мм ² ; (более 5,4 · 10 ¹⁰ Н/м ²)
Теплофизические константы: коэффициент термического расширения Коэффициент теплопроводности	(8-15) · 10 ⁻⁶ 1/°С Изменения в пределах 0,7-1,6 Вт/мК в интервале температур 20-500 °С
Газовыделение	Недопустимо

При отверждении ЖРО методом остекловывания должны выполняться следующие требования:

Установка остекловывания должна находиться в отдельном помещении, снабженном системой вентиляции. С целью предотвращения разлива стеклоподобного материала при его расфасовке должен быть предусмотрен контроль размещения контейнера для

стеклоподобного материала под сливным патрубком и заполнения емкости стеклоподобным материалом, а также устройство, исключаящее возможность разлива во время транспортирования контейнера со стеклоподобным материалом от места его заполнения до места выдержки для остывания.

Концентрация плутония в ЖРО не должна превышать $0,03 \text{ г/дм}^3$.

При остекловывании должен быть обеспечен контроль концентраций радионуклидов и концентраций H_2 , CO и других газов, исходящих из печи. Химический состав ЖРО, используемые материалы и параметры процесса остекловывания должны обеспечивать получение однородного стеклоподобного материала с равномерным распределением по его объему радионуклидов.

При остекловывании должно быть обеспечено управление технологическими параметрами процесса и контроль за ними, обеспечивающими получение стеклоподобного материала с основными показателями качества, приведенными в табл.9.3.

Кондиционирование ЖРО. Требования безопасности к кондиционированию ЖРО аналогичны требованиям, изложенным для ТРО в разд. 9.1.

9.3. Требования по обеспечению безопасности при обращении с газообразными РАО

Целью обеспечения безопасности при обращении с газообразными РАО (ГРО) является предотвращение выброса радиоактивных веществ в окружающую среду в количествах, превышающих допустимые выбросы, установленные в соответствии с ФНП.

ГРО, образуемые на объектах ИАЭ, проходят очистку на различных газоочистных установках: ионообменных фильтрах, фильтрах Петрянова, скрубберных установках, уловителях твердых частиц и др., которые очищают (хотя и не в полной мере) газ (воздух), содержащий радионуклиды, и преобразуют ГРО в ТРО или ЖРО в зависимости от конструкции очистительной установки. Технические требования к этим установкам, также требования к технологическому и радиационному контролю при обращении с ГРО приведены в НП-021-2000 [66].

Ниже приводятся положения, которые должны учитываться при выборе технических средств и организационных мер для безопас-

ного обращения с ГРО, а также методы и средства технологического и радиационного контроля.

Для повышения безопасности при эксплуатации технических средств, используемых в системе обращения с ГРО, должны быть предусмотрены:

- комплекс технических средств для безопасного обращения с ГРО и организационных мер по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности, в том числе по предотвращению распространения пламени и продуктов горения через воздухопроводы и газоходы;

- средства для регулирования производительности тягодутьевых устройств (газодувок, вентиляционных агрегатов, вентиляторов, компрессоров и т.п.);

- резервирование фильтрующих и поглощающих элементов оборудования с целью обеспечения замены или регенерации фильтров (поглотительных колонок) без прекращения очистки ГРО;

- местная очистка воздуха, удаляемого из мест возможного образования и накопления ГРО (укрытий, боксов, камер, шкафов, каньонов, других подобных устройств и мест проведения ремонтно-профилактических работ);

- методы и средства для обеспечения стабильности параметров сред, влияющих на работоспособность и эффективность фильтров и поглотителей (температуры, влажности, скорости потока), при этом допускается использовать максимальное возможное сокращение протяженности воздухопроводов, теплоизоляцию воздухопроводов, подогрев (охлаждение) транспортируемых ГРО.

Для предотвращения снижения эффективности работы аппаратов очистки ГРО, содержащих влагу (в виде тумана и (или) пара), должны быть предусмотрены технические средства ее удаления из газового потока, в том числе механические фильтры, подогреватели, влагоотбойники, конденсаторы, аппараты нейтрализации паров агрессивных жидкостей и иное оборудование, обеспечивающее эффективное удаление влаги.

При наличии в ГРО альфа-активных радионуклидов должны быть предусмотрены (независимо друг от друга) технические средства и организационные меры по: предотвращению неконтролируемого накопления альфа-активных радионуклидов в элементах оборудования, трубопроводов (воздуховодов); удалению альфа - активных радионуклидов в случае возможного неконтролируемого их накопления; контролю за накоплением альфа-активных радио-

нуклидов на очистном оборудовании (фильтрах); использованию ядерно-безопасного оборудования.

В случае использования в очистном оборудовании по обращению с ГРО в качестве сорбента активированного угля при его возгорании должны быть предусмотрены меры по предотвращению распространения огня.

Технологические сдувки подлежат обязательной очистке. Подсоединение трубопроводов технологических сдувок к сборным вентиляционным коробам, транспортирующим воздух в вентиляционную трубу, допускается только после обработки технологических сдувок в очистном оборудовании по обращению с ГРО. Использование общеобменной вентиляционной системы для удаления технологических сдувок запрещается.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Какими нормативными документами устанавливаются требования по безопасности для различных этапов обращения с ЖРО, ТРО ГРО?

2. Укажите сферы распространения этих документов.

3. Дайте характеристику основным методам обращения с ТРО и сравните их.

4. Что такое кондиционирование РАО? Приведите примеры кондиционирования РАО и сформулируйте требования к методам и средствам кондиционирования.

5. Каким требованиям должны удовлетворять конструкция и конструкционные материалы контейнеров для размещения в них твердых РАО?

6. Перечислите требования по безопасности при переработке ЖРО.

7. Что такое отвержденные РАО и как из ЖРО получают отвержденные РАО?

8. Сравните различные способы отверждения РАО.

9. Какие наиболее распространенные способы отверждения НАО и САО используются в настоящее время?

10. Для каких ЖРО используется остекловывание?

11. В чем особенности обращения с газообразными РАО?

12. Назовите основные требования по безопасности, предъявляемые к техническим средствам по обращению с ГРО.

Глава 10. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ РАО

10.1. Общие вопросы захоронения РАО

Захоронение является заключительным, очень важным и ответственным этапом обращения с РАО, поскольку отходы должны быть размещены в ПЗРО без намерения их извлечения когда-либо. Этот этап является самым длительным из всех. Уже на этапе сбора и сортировки РАО, эксплуатирующая организация должна учитывать предполагаемый способ захоронения РАО, чтобы обеспечить качественное, надежное и безопасное их захоронение.

Рекомендации МАГАТЭ по захоронению РАО (гл. 3), аккумулирующие опыт многих стран с развитой атомной промышленностью, предлагают рассматривать два вида захоронений в соответствии с долговременной опасностью (токсичностью) и уровнем выделяемой тепловой энергии радионуклидами:

- приповерхностное захоронение (ППЗ РАО) – это захоронение РАО в сооружения, расположенные на поверхности земли и (или) на глубине до ста метров. В эти ПЗРО должны размещаться РАО, в которых ограничено тепловыделение и содержание долгоживущих радионуклидов;

- захоронение в глубокие геологические формации (захоронение глубокого заложения). Это захоронение РАО в сооружения, размещаемые на глубине нескольких сотен метров. ПЗРО этого типа предназначены для высокоактивных РАО, а также ОЯТ, которые характеризуются достаточно большим тепловыделением.

Следует отметить, что концепция поверхностного и глубинного захоронений *исключает захоронение ЖРО*. Это связано с тем, что ЖРО способны к более быстрому распространению за пределы ПЗРО и, следовательно, представляют гораздо большую угрозу, чем твердые или отвержденные отходы для населения и окружающей среды.

К классификации ПЗРО твердых и отвержденных РАО в России принят подход, рекомендованный МАГАТЭ [29]. Однако исторически сложилось так, что в России с 1963 г. успешно осуществляется захоронение ЖРО в подземные пласты-коллекторы на глуби-

ны в несколько сот метров (ПГЗ ЖРО). Для захоронения используются геологические горизонты – пласты-коллекторы, изолированные от поверхности и неглубокозалегающих подземных вод. Для целей захоронения в соответствии с действующим законодательством выделяется горный отвод, в границах которого должны быть локализованы отходы. Захоронение ЖРО не является сбросом в недра или подземные водные объекты, поскольку в соответствии с ФЗ «О недрах» [88] *предусматривается контролируемая локализация отходов* в установленных границах горного отвода [9].

Принципы, критерии и основные требования безопасности при захоронении РАО в России сформулированы в НП-055-04 [91]. Этот документ распространяется на проектируемые, сооружаемые, эксплуатируемые и закрываемые пункты захоронения твердых и отвержденных РАО, а также на эксплуатируемые и закрываемые ПГЗ ЖРО.

10.2. Цель, принципы, критерии и основные требования обеспечения безопасности

Цель обеспечения безопасности. При захоронении РАО должна быть достигнута надежная изоляция РАО, обеспечивающая радиационную безопасность человека и окружающей среды на весь период потенциальной опасности РАО.

Принципы обеспечения безопасности при захоронении РАО, в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ²²:

Радиационное воздействие, связанное с захоронением РАО, должно поддерживаться на возможно низком достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов (*принцип оптимизации*).

Долговременная безопасность захоронения РАО в период после закрытия ПЗРО (ПГЗ ЖРО) должна обеспечиваться применением системы барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду. Нарушение целостности одного из барьеров или вероятное внешнее событие

²² Более подробно принципы обеспечения безопасности при захоронении РАО рассмотрены в разд. 3.2. Здесь для полноты изложения приводится их краткое содержание.

природного или техногенного происхождения не должны приводить к снижению уровня долговременной безопасности захоронения РАО (*принцип многобарьерности*).

Прогнозируемые уровни облучения будущих поколений, обусловленные захоронением РАО, не должны превышать допустимые уровни облучения населения, установленные действующими нормативными документами. Любой индивидуум будущих поколений должен быть защищен от вредного воздействия захороненных РАО в не меньшей степени, чем любой индивидуум нынешнего поколения (*принцип защиты будущих поколений*).

Захоронение РАО должно осуществляться таким образом, чтобы не возлагать на будущие поколения необоснованное бремя, связанное с необходимостью обеспечения безопасности при обращении с РАО (*принцип невозложения чрезмерного бремени на будущие поколения*).

Критерии обеспечения безопасности при захоронении РАО. ПЗРО (ПГЗ ЖРО) удовлетворяет требованиям безопасности при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, если его радиационное воздействие на работников (персонал), население и окружающую среду *не приводит к превышению* установленных нормативными документами дозовых пределов облучения работников (персонала) и населения и нормативов выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду.

ПЗРО (ПГЗ ЖРО) удовлетворяет требованиям безопасности в период после его закрытия, если:

- при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов на площадке размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО) его радиационное воздействие не приведет к превышению установленной на захоронение квоты предела годовой эффективной дозы;

- при маловероятных внешних воздействиях природного и техногенного характера на площадке размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО) не будет превышен предел индивидуального суммарного риска, равный дл критической группы населения 10^{-5} год⁻¹.

Критерии выбора способа захоронения РАО. Выбор способа захоронения (приповерхностное захоронение или захоронение в глубокие геологические формации), конструкции хранилища и свойств барьеров должен определяться и обосновываться в проекте ПЗРО в зависимости от характеристик РАО (радионуклидный со-

став, удельная активность, период потенциальной опасности, физико-химические свойства), с учетом природных условий размещения ПЗРО.

Таблица 10.1

Допустимое содержание радионуклидов в РАО, захораниваемых
в приповерхностных ПЗРО

Радионуклиды	Активность, Бк/м ³ (Бк/кг)
Радионуклиды с периодом полураспада менее 5 лет	Не ограничена
Тритий (H ₃)	Не ограничена
Углерод-14	$3,0 \cdot 10^{11}$ Бк/м ³
Углерод-14 в активированном металле	$3,0 \cdot 10^{12}$ Бк/м ³
Никель-59 в активированном металле	$8,1 \cdot 10^{12}$ Бк/м ³
Кобальт-60	Не ограничена
Никель-63	$2,6 \cdot 10^{13}$ Бк/м ³
Никель-63 в активированном металле	$2,6 \cdot 10^{14}$ Бк/м ³
Стронций-90	$2,6 \cdot 10^{14}$ Бк/м ³
Ниобий-94 в активированном металле	$7,4 \cdot 10^9$ Бк/м ³
Цезий-137	$1,7 \cdot 10^{14}$ Бк/м ³
Технеций-99	$1,1 \cdot 10^{11}$ Бк/м ³
Иод-129	$3,0 \cdot 10^9$ Бк/м ³
Плутоний-241	$1,3 \cdot 10^8$ Бк/кг
Кюрий-242	$7,4 \cdot 10^8$ Бк/кг
Уран и трансурановые альфа-излучающие радионуклиды с периодом полураспада более 5 лет	$3,7 \cdot 10^6$ Бк/кг

Примечания к табл. 10.1:

1. Для отходов, содержащих смесь радионуклидов, общая концентрация определяется как "сумма долей" путем деления концентрации каждого нуклида на соответствующую допустимую концентрацию. Сумма долей не должна превышать 1,0.

2. Если РАО не содержат радионуклидов, приведенных в таблице, эти отходы относятся к категории, для которой нет ограничения на приповерхностное захоронение.

3. Верхнее (консервативное) значение $3,7 \cdot 10^3$ Бк/г для урана и трансурановых альфа-излучателей с периодом полураспада больше 5 лет допускается для отдельных упаковок РАО при условии, что в среднем в ПЗРО их удельная активность не превысит 370 Бк/г.

4. При оценочных расчетах насыпной вес РАО принимается равным 2 т/м^3 .

Допустимое содержание радионуклидов в РАО, захораниваемых в *приповерхностных ПЗРО*, приведено в табл. 10.1. РАО, содержащие радионуклиды в количестве, превышающем указанные в таблице пределы, должны захораниваться в ПЗРО глубокого заложения.

Концепция обеспечения безопасности. Безопасность ПЗРО (ПГЗ ЖРО) должна обеспечиваться за счет последовательной реа-

лизации концепции ГЭШЗ. Система технических и организационных мер, образующих основные уровни этой защиты приведены в разд.7.4.

Основные требования обеспечения безопасности при различных способах захоронения РАО.

Общие требования к барьерам. ПЗРО (ПГЗ ЖРО) должен иметь систему барьеров (инженерных и естественных), препятствующих распространению ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду.

Количество и назначение барьеров ПЗРО (ПГЗ ЖРО) определяются и обосновываются в проекте с учетом результатов исследований свойств материалов барьеров и прогнозного расчета для оценки безопасности системы захоронения РАО.

При нормальной эксплуатации барьеры должны быть работоспособными, а меры по их защите должны находиться в состоянии готовности. При выявлении неработоспособности любого из барьеров или неготовности мер по его защите пункт захоронения должен быть приведен в состояние, удовлетворяющее требованиям соответствующих нормативных документов по безопасности.

Долговременная безопасность системы захоронения РАО должна обеспечиваться на основе реализации *принципа многобарьерности*, основанного на применении системы барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, чтобы нарушение целостности одного из барьеров или вероятные внешние события природного или техногенного происхождения не привели к недопустимому снижению уровня безопасности системы захоронения РАО.

Система барьеров ПЗРО (ПГЗ ЖРО) должна:

- обеспечивать безопасность захоронения РАО в период их потенциальной опасности с учетом возможных внешних воздействий природного и техногенного происхождения в районе размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО), а также с учетом протекающих в ПЗРО (ПГЗ ЖРО) физических и химических процессов;
- сохранять изолирующие свойства при воздействиях вмещающих горных пород;
- сохранять изолирующие свойства при тепловом воздействии тепловыделяющих РАО;

– препятствовать непреднамеренному вторжению людей и животных.

Требования к инженерным барьерам. Инженерные барьеры после закрытия ПЗРО (ПГЗ ЖРО) должны выполнять свои функции в течение установленного и обоснованного в проекте периода без технического обслуживания и ремонта.

Инженерные барьеры должны предотвращать: контакт упаковок РАО с природными водами; разрушение упаковок РАО от воздействия тектонических процессов; разрушение упаковок РАО от воздействия вмещающих пород; распространение радионуклидов во вмещающие породы.

Требования к естественным барьерам. Для ПЗРО глубокого заложения естественные барьеры (вмещающие горные породы) служат *основным барьером*. Изолирующие (фильтрационные и сорбционные) свойства естественных барьеров должны ограничивать контакт подземных вод с инженерными барьерами и миграцию радионуклидов при нарушении их целостности.

Вмещающие горные породы должны быть устойчивы к тепловому воздействию тепловыделяющих РАО, сохранять свои изолирующие свойства и обеспечивать в ПЗРО глубокого заложения тепловой режим, не приводящий к нарушению целостности инженерных барьеров.

Система технических и организационных мер по обеспечению безопасности при захоронении РАО должна быть представлена в проекте ПЗРО (ПГЗ ЖРО) и отражена в ООБ, который должен содержать результаты анализа безопасности ПЗРО (ПГЗ ЖРО) в период его эксплуатации и после его закрытия.

Достаточность принятых проектом ПЗРО (ПГЗ ЖРО) технических решений по обеспечению безопасности должна быть **обоснована** для всего периода потенциальной опасности захороненных РАО с учетом возможных внешних воздействий природного и техногенного происхождения в районе размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО), а также с учетом протекающих в ПЗРО (ПГЗ ЖРО) физических и химических процессов.

Для обоснования долговременной безопасности системы на основании перечня исходных событий, способных привести к проектным (запроектным) авариям, должен быть выполнен *прогнозный*

расчет. Обоснование безопасности захоронения должно быть представлено в проекте и ООБ.

10.3. Требования по обеспечению безопасности на различных этапах жизненного цикла ПЗРО

Жизненный цикл ПЗРО, как и любого объекта ИАЭ, состоит из последовательных этапов: *размещение, проектирование, сооружение, эксплуатация и закрытие ПЗРО.* В НП-055-04 приводятся основные (обобщенные) требования по безопасности для всех этапов жизненного цикла ПЗРО, с учетом особенностей захоронения: приповерхностного, в глубокие геологические формации и в глубокие пласты-коллекторы. Конечно, эти требования относятся, прежде всего, к вновь создаваемым ПЗРО. Требования по безопасности к уже эксплуатируемым ПЗРО того или иного типов должны анализироваться, и решение о приведении их условий эксплуатации в соответствие с требованиями по безопасности должны приниматься в каждом конкретном случае, с учетом рекомендации Объединенной конвенции и принципа ALARA.

Остановимся кратко на основных положениях требований к обеспечению безопасности ПЗРО на различных этапах жизненного цикла.

Размещение. При размещении ПЗРО любого типа необходимо стремиться к выполнению двух наиболее важных комплексов требований.

Первый связан с параметрами и условиями *стабильности площадки размещения* ПЗРО. Площадка должна характеризоваться низкой сейсмической и вулканической активностью района размещения хранилища, стабильностью климатических условий и гарантиями отсутствия вторжения человека в сферу размещения ПЗРО за весь период его существования.

Второй связан с характеристиками площадки, позволяющими гарантировать, обеспечение *не попадания воды в объем хранилища* или появления воды вблизи хранилища, поскольку вода является активным «транспортом» распространения радионуклидов за пределы хранилища.

Проектирование и сооружение. В проекте ПЗРО должны быть учтены все особенности размещения ПЗРО и все ранее сформули-

рованные требования обеспечения безопасности ПЗРО. В соответствии с этими требованиями должны быть установлены критерии приемлемости кондиционированных РАО [102], требования к свойствам контейнеров и др.

В состав проекта любого типа ПЗРО должны входить: прогнозный расчет оценки безопасности системы захоронения, обоснование характеристик инженерных барьеров (состав, защитные свойства, надежность, сроки их работоспособности, меры по их защите), обоснование устойчивости ПЗРО к внешним воздействиям природного и техногенного происхождения и др. В проекте сооружаемых ПЗРО должны содержаться положения по обеспечению безопасности закрытия ПЗРО и концепция его закрытия.

Эксплуатация. Требования НП-055-04 распространяются и на эксплуатируемые в настоящее время ПЗРО. Состояние безопасности многих из них либо не вполне соответствует требованиям НП-055-04, либо - не определено (не доказано или не подтверждено). Более того, ряд хранилищ ТРО имеют статус долговременных хранилищ, а в действительности являются объектами захоронения РАО – ПЗРО. Поэтому в НП-055-04 предлагается следующий порядок по приведению эксплуатируемых и законсервированных хранилищ в соответствие с современными требованиями.

С целью определения необходимого объема реализации технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасности работников (персонала) и населения, а также на обеспечение безопасности системы захоронения РАО, на эксплуатируемых (законсервированных) ПЗРО (ПГЗ ЖРО) *должны быть проведены анализ текущего уровня безопасности и прогнозный расчет для оценки безопасности системы захоронения РАО.* По результатам проведенного анализа и прогнозного расчета должны быть выполнены все разумно практически осуществимые мероприятия, направленные на реализацию требований настоящего документа.

Эти мероприятия должны проводиться, руководствуясь основными принципами обеспечения радиационной безопасности: нормирования, обоснования и оптимизации.

Важным комплексом требований, определяющих долговременную безопасность ПЗРО, являются требования по документированию и хранению информации о ПЗРО в течение всего его жизнен-

ного цикла, включая проектную и эксплуатационную документацию, а также информацию о любых корректировках документации и технологии захоронения, количестве, составе, удельной активности РАО и т.д.

Закрытие. Работы по закрытию ПЗРО должны находить свое отражение в программе закрытия ПЗРО (ПГЗ ЖРО) и ООБ. Программа закрытия ПЗРО (ПГЗ ЖРО) должна быть разработана до прекращения размещения РАО и до истечения назначенного проектом (или 30-летнего) срока эксплуатации. Программа должна отражать все особенности пункта захоронения (проектные, эксплуатационные, технологические и др.).

После прекращения размещения РАО в пункте захоронения эксплуатирующая организация должна провести комплексное инженерное и радиационное обследование пункта (КИРО), дезактивацию всего оборудования и систем, переработку и кондиционирование РАО, накопленных на ПЗРО (ПГЗ ЖРО) в период его эксплуатации и их размещение в ПЗРО (ПГЗ ЖРО). Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации, порядок и объем проведения КИРО изложены в НП-024-2000 [104].

Закрытие осуществляется в соответствии с проектом, в котором должна быть предусмотрена безопасность проведения работ, их контроль и долговременная безопасность ПЗРО (ПГЗ ЖРО).

10.4. Требования безопасности при приповерхностном захоронении РАО

В развитии НП-058-04 и НП-055-04 в части обеспечения безопасности при приповерхностном захоронении РАО (ППЗРО) введены НП-069-06 [105]. Требования этого документа распространяются на проектируемые, сооружаемые, эксплуатируемые, закрываемые и закрытые пункты приповерхностного захоронения РАО. Документ разработан с учетом рекомендаций, изложенных в документе МАГАТЭ [103].

Остановимся на наиболее важных требованиях по обеспечению безопасности ППЗРО, изложенных в НП-069-06.

Требования к РАО. Приповерхностному захоронению подлежат только ТРО и отвержденные РАО. Жидкие РАО не должны захора-

ниваться в ППЗРО. (В требованиях приемлемости РАО для их захоронения количество влаги ограничивается величиной 3 %.).

Приповерхностному захоронению подлежат короткоживущие (содержащие радионуклиды с периодом полураспада менее 30 лет, а также цезий-137) НАО, САО и ВАО с ограниченным содержанием долгоживущих радионуклидов. Максимальная удельная активность альфа-излучателей (урана, трансурановых элементов и др.) с периодом полураспада более 5 лет в отдельных упаковках РАО (в ячейках захоронения РАО) не должна превышать $3,7 \cdot 10^3$ Бк/г при условии, что в среднем по ППЗРО их удельная активность не превышает 370 Бк/г.

Величина максимальной удельной активности захораниваемых РАО должна устанавливаться в соответствии с требованиями ФНП из расчета потенциальной опасности РАО.

На ППЗРО не допускается захоронение долгоживущих РАО, а также РАО, тепловыделение которых может привести к изменениям физических, химических и механических свойств упаковок РАО и снижению эффективности инженерных и естественных барьеров.

Примечания:

1. Многие отходы представляют собой в основном смесь цезия-137 и стронций-90 и неизбежно должны захораниваться вместе. Однако период полураспада стронция-90 составляет 29,1 лет, а цезия-137 – 30,17 лет то есть более 30 лет. Поскольку к короткоживущим радионуклидам относятся радионуклиды с периодом полураспада менее 30 лет [21], то цезий-137 формально должен быть отнесен к долгоживущим радионуклидам.

2. В ППЗРО могут захораниваться все категории короткоживущих радионуклидов. Содержание долгоживущих радионуклидов ограничивается и должно быть обосновано из расчета их потенциальной опасности, в том числе для эксплуатируемых и закрытых ППЗРО.

3. Допускается приповерхностное захоронение среднеактивных альфа-излучателей с удельной активностью до $3,7 \cdot 10^3$ Бк/г, в то время как к альфа-излучающим САО относятся РАО с удельной активностью от 10^2 до 10^6 Бк/г (ОСПОРБ-99/2010).

Общие требования к барьерам. Большое значение при захоронении ТРО в приповерхностном слое земли и, особенно в земляных траншеях, является обеспечение изолированности отходов от грунтовой влаги (воды), атмосферных осадков, поскольку именно с водой происходит перенос радионуклидов за пределы захоронения. В НП-069-06 имеется ряд требований, направленных на снижение или исключения контакта РАО с водой:

- размещение РАО и негерметичных радиоактивных источников в контейнерах, а контейнеров в ячейках ППЗРО;

- использование буферного материала в ячейках захоронения для заполнения пустот и свободных объемов вокруг упаковок РАО и самих РАО;

- использование гидроизоляции для предотвращения поступления в ячейки захоронения подземных вод и атмосферных осадков;

- применение многослойного покрывающего экрана, предотвращающего контакт ячейки ППЗРО от контакта с атмосферными осадками и поверхностными водами и отводящего воды от гидроизолирующего слоя, а также препятствующего проникновению животных, корней растений, непреднамеренному вторжению человека и разрушению гидроизолирующего слоя;

- применение многослойного подстилающего экрана, предотвращающего поступление воды из грунта и сорбирующего радионуклиды, выщелачиваемые из ячеек ППЗРО;

- организация системы водоотвода, защиты от атмосферных осадков, контроль наличия воды в ячейках захоронения РАО и удаления воды в случае ее поступления в ячейки захоронения РАО;

- выбор места размещения ППЗРО, характеризующее удаленностью грунтовых вод, и породами, препятствующими распространению воды.

Инженерные барьеры. В качестве инженерных барьеров на ППЗРО применяются: стенки сосудов, контейнеров, оболочки закрытых радиоактивных источников, упаковки РАО, матричные материалы, конструкционные материалы ячейки захоронения, буферные материалы, строительные конструкции, подстилающий и покрывающий экраны и др.

Таким образом, инженерные барьеры выполняют две функции. Во-первых, уменьшают воздействие ионизирующего излучения на персонал (население), уменьшая поток ионизирующего излучения за счет удаления радиационного источника и поглощения излучения элементами конструкции инженерных барьеров. Во-вторых, уменьшают распространение радионуклидов в окружающую среду за счет локализации и герметизации радионуклидов в проектном объеме ячейки захоронения.

Важными элементами инженерных барьеров являются железобетонные ячейки ППЗРО и контейнеры, в которых размещаются

РАО. Для изготовления контейнеров могут использоваться различные материалы, в том числе металл, бетон, железобетон, пластмасса, различные композитные и иные материалы. Контейнеры могут использоваться как для захоронения, так и для осуществления транспортно-технологических операций с РАО. Контейнеры незаменимы при захоронении радиоактивных источников, потерявших герметичность, некондиционированных РАО, долговременных захоронений и др.

Общие технические требования к контейнерам для транспортирования и захоронения в ПЗРО изложены в ГОСТ Р 51824–2001 [36], в соответствии с которым изготавливаются контейнеры НЗК-150-1,5.

Естественные барьеры. Допускается захоронение низкоактивных короткоживущих ТРО (загрязненный радиоактивными веществами грунт, крупногабаритное нефрагментируемое загрязненное радиоактивными веществами оборудование и строительные конструкции, отвержденные НАО) в ячейки ППЗРО *траншейного типа без контейнера*. В этом случае естественные барьеры выполняют основную изолирующую роль.

В качестве естественных барьеров ППЗРО используются несущие горные породы, выполняющие роль основания сооружений ППЗРО и вмещающие горные породы, в которых размещаются сооружения.

Естественные барьеры должны ограничивать контакт подземных вод с инженерными барьерами и распространение радионуклидов в ближнюю зону ППЗРО при нарушении целостности инженерных барьеров.

ППЗРО могут сооружаться:

- в высокопроницаемых грунтах аэрации (пески, песчаники, супесь);
- в низкопроницаемых грунтах (глины, суглинки, скальные породы, каменная соль);
- в многолетнемерзлых грунтах.

Однако наиболее приемлемыми для сооружения ППЗРО являются низкопроницаемые горные породы, приуроченные к геологическим блокам с несложным и однородным геологическим строением.

При сооружении не должны нарушаться изолирующие свойства естественных барьеров. При сооружении ППЗРО в любых породах, грунтах и образованиях следует особое внимание уделять вопросам водообмена, наличиям линз рассолов, глубине промерзания и оттаивания и другим вопросам, связанным с появлением свободной влаги в зоне размещения и сооружения.

Оценка безопасности ППЗРО. Для оценки безопасности ППЗРО введен в действие РБ-011-2000 [51]. Этот документ определяет методологию проведения оценки безопасности ППЗРО, в том числе: сценарии изменения ППЗРО со временем, методологию разработки и использования концептуальных и математических моделей ППЗРО, а также проведения анализа результатов математического моделирования. Это руководство имеет рекомендательный характер и может служить основой для проведения прогнозного расчета на всех этапах жизненного цикла ППЗРО, а также для длительного периода после закрытия ППЗРО (гл. 4).

Для анализа безопасности ППЗРО в РБ-011-2000 используется перечень событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов (ФЕР), существенно влияющих на безопасность ППЗРО. Этот перечень служит основой для анализа возможных *проектных и запроектных аварий* при эксплуатации ППЗРО и после его закрытия. Исходные события, не предусмотренные проектной документацией и связанные, как правило, с ошибками в проектировании, ошибками в конструировании, некачественном сооружении объекта, некачественном изготовлении оборудования и не предусмотренном проектом вторжении человека, могут привести к запроектной аварии на ППЗРО.

Общие требования к размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации ППЗРО твердых и отвержденных РАО, срок потенциальной опасности которых превышает проектную продолжительность функционирования инженерных барьеров системы захоронения, устанавливает ГОСТ Р 52037–2003 [106]. Его требования распространяются на вновь создаваемые могильники РАО, которые проектируют, строят и вводят в эксплуатацию после июня 2003 г. Существующие приповерхностные могильники подлежат модернизации с целью приведения их в соответствии с требованиями этого стандарта.

В [106] приводится классификация могильников по следующим признакам: расположение относительно земной поверхности, конструкция, способ строительства, вмещающая порода, статус. Устанавливаются требования к характеристикам могильников, упаковкам РАО, к месту размещения, генеральному плану и транспорту, стойкости к внешним воздействиям, надежности, безопасности и др. Требования стандарта основаны на положениях Федеральных законов, требованиях стандартов и ФНП в области ИАЭ или обращения с РАО.

10.5. Общие требования безопасности при захоронении РАО в глубокие геологические формации

Захоронению в глубокие геологические формации (ПЗРО глубокого заложения) подлежат ТРО и отвержденные РАО, которые не могут быть захоронены в приповерхностных ПЗРО. Эти САО и ВАО могут содержать долгоживущие радионуклиды практически в любом количестве. Удельная активность захораниваемых радионуклидов может быть более 370 Бк/г для урана и трансурановых альфа-излучателей (с периодом полураспада более 5 лет) в среднем по ПЗРО. Однако эти критерии позволяют определить только одну из границ ограничений на характеристики РАО. Дальнейшее уточнение требований к РАО, захораниваемых в ПЗРО глубокого заложения, осуществляется и обосновывается в проекте.

Для ПЗРО глубокого заложения не разработано отдельного документа, конкретизирующего требования по безопасности, изложенные в НП-055-04. Это обусловлено, по-видимому, тем, что до сих пор в России не существует ни одного захоронения подобного типа и не сообщается о проектировании ПЗРО глубокого заложения в ближайшее время. Похожая ситуация наблюдается и в других странах. Перед создателями подобных захоронений, предназначенных для ВАО с долгоживущими радионуклидами, ставится задача обеспечения долговременной (в течение до 10000 лет) потенциальной безопасности. Поэтому большое значение уделяется выбору района размещения ПЗРО глубокого заложения. Площадка должна выбираться с учетом следующих требований (а также с учетом общих требований к захоронению, изложенных в разд. 10.1.-10.3.):

1. Вмещающие породы должны быть представлены одним из потенциально пригодных типов: кристаллические магматические или метаморфические породы. Это – *граниты, гнейсы, туфы и др., предпочтительно основного или ультраосновного состава; каменная соль или ангидрит; глины*. Вмещающие породы должны иметь достаточный объем, залегать на приемлемой глубине и обладать благоприятными физико-механическими свойствами, однородной структурой и низкой трещиноватостью.

2. Район для размещения площадки не должен испытывать интенсивных тектонических движений и должны отсутствовать активные разломы.

3. Зона захоронения должна характеризоваться пониженным тепловым потоком.

4. Площадка должна быть проанализирована с точки зрения возможного контакта захоронения с водой:

- область горных пород не должна содержать водоносных горизонтов, линз подземных вод или трещиноватых зон, по которым возможны водоприток в горные выработки и их затопление;

- должны отсутствовать каналы гидравлической связи предполагаемого уровня размещения ПЗРО с дневной поверхностью, с выше- и нижележащими водоносными горизонтами, включая не пригодные для водоснабжения;

- выше предполагаемой глубины заложения сооружений ПЗРО глубокого заложения должны располагаться не пригодные для водоснабжения водоупорные и водоносные горизонты;

- подземные воды должны иметь восстановительный характер, слабощелочную реакцию и низкую минерализацию.

Естественные барьеры, вмещающие породы района размещения ПЗРО глубокого заложения, должны служить основным барьером для ограничения распространения радионуклидов. Изолирующие (фильтрационные и сорбционные) свойства естественных барьеров должны ограничивать контакт подземных вод с инженерными барьерами и миграцию радионуклидов при нарушении целостности инженерных барьеров.

Вмещающие горные породы должны быть устойчивы к тепловому воздействию тепловыделяющих РАО, сохранять свои изолирующие свойства и обеспечивать в ПЗРО тепловой режим, не приводящий к нарушению целостности инженерных барьеров.

Более подробно с гидрогеологическими характеристиками различных вмещающих пород и их свойствами, влияющими на захоронение высокоактивных тепловыделяющих РАО, можно познакомиться в монографиях [13],[14].

В случае содержания в захораниваемых РАО ядерно-опасных делящихся радионуклидов в проекте ПЗРО глубокого заложения должны быть предусмотрены меры, направленные на обеспечение ядерной безопасности.

В НП-055-04 приведен примерный перечень событий, которые необходимо учитывать при прогнозном расчете для оценки безопасности системы захоронения ПЗРО глубокого заложения. Представлены три группы исходных событий: внешние воздействия, внутренние воздействия и воздействия, связанные с непреднамеренным вторжением человека.

Эти исходные события могут быть причиной возникновения *проектных и запроектных аварий*. Поскольку ПЗРО глубокого заложения должно размещаться на глубине в несколько сот метров, то некоторые процессы, которые могут привести к авариям - трудно локализовать и погасить. Это накладывает особую ответственность на проектантов в выборе района размещения ПЗРО глубокого заложения и к его сооружениям.

10.6. Требования безопасности при глубинном захоронении ЖРО

Общие сведения. Как уже отмечалось ранее, ПГЗ ЖРО имеются только в России. Начало их эксплуатации относится к 70-м годам прошлого столетия.

До 1993 г. регулирование безопасности на ПГЗ ЖРО осуществлялось в соответствии с требованиями отраслевых документов (документов Министерства среднего машиностроения и документов предприятий), а с 1993 года в соответствии с СП и ТУ ЭКХ-93 [107]. В 2003 г. в дополнении и уточнении к вышеуказанным СП и ТУ ЭКХ-93 вышли МУ ЭКГХ-2003 [108], которые фактически заменили СП и ТУ ЭКХ-93. Они распространяются на все виды деятельности по *обеспечению санитарной и радиационной безопасности* при глубинном захоронении ЖРО и химических отходов, включая размещение, проектирование, сооружение и эксплуатацию

глубоких хранилищ отходов, проведение мониторинга, вывод из эксплуатации хранилищ и их сооружений, консервацию хранилищ.

Требования безопасности НП-055-04 и НП-058-04 по захоронению ЖРО в глубокие пласты-коллекторы дополняют МУ ЭКГХ-2003 в части касающейся цели, принципов, критериев и общих технических требований при обращении с ЖРО и обеспечении безопасности на ПГЗ ЖРО.

Остановимся на основных, свойственных только для ПГЗ ЖРО, требованиях по безопасности захораниваемых отходов и технических требованиях к ПГЗ ЖРО.

Требования к захораниваемым отходам. На захоронение в ПГЗ ЖРО могут направляться все категории ЖРО: НАО, САО и ВАО, а также ЖРО, содержащие только тритий (тритиевые отходы).

Радионуклидный состав ВАО должен иметь период полураспада два и менее лет. В каждом конкретном случае в зависимости от состава ЖРО устанавливается ограничение на максимальную удельную активность ВАО, направляемых на захоронение. Состав ВАО и максимальные предельные активности трансурановых радионуклидов в ЖРО, устанавливаются в каждом конкретном случае на основании исследований и расчетов.

Содержание (удельная активность) радионуклидов в ЖРО их радионуклидный состав должны быть в пределах, при которых выполняются основные требования безопасности:

- радионуклиды – компоненты отходов – будут локализованы в пределах установленных границ в течение гарантированного времени, а дозы ожидаемого облучения населения не будут превышать установленных пределов НРБ-99/2009 и СПОРО 2002;

- разогрев пород поглощающего горизонта вследствие поглощения энергии радиоактивного распада будет находиться в допустимых пределах. Максимальная температура разогрева пород поглощающего горизонта не должна быть выше 0,6 расчётной величины парообразования в поглощающем горизонте, содержащем отходы;

- в поглощающем горизонте не должны развиваться процессы, препятствующие захоронению отходов в регламентных режимах, снижающие безопасность захоронения, в том числе интенсивное газообразование, концентрирование ядерно-опасных радионуклидов, приводящее к развитию СЦР деления.

Требования и технологические нормы на состав и другие характеристики ЖРО и химических отходов, направляемых на захоронение, устанавливаются *в каждом конкретном случае* на основании исследований взаимодействий отходов с породами, подземными водами и конструкционными элементами скважин, процессов накопления и концентрирования нуклидов в породах, а также на основании результатов прогнозных расчётов и моделирования распространения и миграции отходов и их компонентов, изменений температуры горизонтов, газообразования, с учётом результатов анализа гипотетических аварийных ситуаций и их последствий. Технологические нормы на состав и характеристики отходов приводятся в проекте и регламенте, который может уточняться и корректироваться при осуществлении захоронения.

Долгоживущие трансурановые радионуклиды, в том числе ядерно-опасные радионуклиды, могут содержаться в направляемых на захоронение ЖРО в минимальных количествах, определяемых технологическими и технико-экономическими возможностями их извлечения. Допустимые содержания долгоживущих трансурановых нуклидов устанавливаются на основании **Заключения** о невозможности или нецелесообразности их дальнейшего извлечения, подготовляемого профильной проектной или научно - исследовательской организацией, согласуемого эксплуатирующей организацией, а также на основании заключения Отдела ядерной безопасности ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт» о ядерной безопасности захоронения таких отходов. При подготовке заключений должно учитываться возможное концентрирование ядерно-опасных радионуклидов в породах в результате сорбционных и других физико-химических процессов.

Для обеспечения соответствия составов и характеристик отходов установленным требованиям и нормам выполняется подготовка отходов к захоронению, технология которой разрабатывается в каждом конкретном случае.

Требования к месту размещения ПГЗ и геологической среде. Захоронение ЖРО в ПГЗ осуществляется в глубоко-расположенные под землей (от 200 до 1500 м) геологических средах, от свойств которых и от свойств окружающих их пород, зависит безопасность захоронений. Глубинное захоронение ЖРО является одним из способов их изоляции от среды обитания человека и состоит в нагне-

тании отходов через специальные буровые скважины в пласты-коллекторы. Отходы поступают в поровое пространство пласта-коллектора, вытесняя природные воды и частично смешиваясь с ними. В результате в пласте-коллекторе образуется объем пород, в котором локализованы компоненты отходов. Важно, чтобы отходы оседали в порах породы и не распространялись далее. В связи с этим в НП-055-04 предъявляются следующие требования специального характера:

- емкостные свойства поглощающего пласта-коллектора ПГЗ ЖРО должны обеспечивать размещение ЖРО в пределах ограниченных объемов недр, для которых возможно определение границ горного отвода;

- естественные барьеры ПГЗ ЖРО должны обладать низкими фильтрационными свойствами и ограничивать распространение радионуклидов в выше- и нижезалегающие горизонты;

- поглощающий горизонт ПГЗ ЖРО должен быть изолирован от поверхности и вышележащих проницаемых горизонтов в области влияния захороненных ЖРО горизонтами слабопроницаемых (водоупорных) пород. Эти горизонты должны предотвращать или ограничивать субвертикальную миграцию компонентов отходов;

- в пределах горного отвода ПГЗ ЖРО и области прогнозируемого распространения радионуклидов не должно быть каналов гидравлической связи поглощающего горизонта (пласта-коллектора) с дневной поверхностью, а также с выше- и нижезалегающими водоносными горизонтами;

- выше поглощающего горизонта должен залегать буферный горизонт, отделенный от него слабопроницаемыми породами, способный так же, как и поглощающий горизонт, обеспечивать локализацию отходов в случае их перетекания через разделяющий слабопроницаемый горизонт. Буферный горизонт должен перекрываться слабопроницаемыми породами, отделяющими его от вышележащих горизонтов.

- скорости естественного движения подземных вод в поглощающем горизонте должны быть достаточно малы для обеспечения локализации ЖРО на ограниченном участке геологической среды. Участок захоронения ПГЗ ЖРО не должен располагаться в пределах области разгрузки поглощающего горизонта в неглубоко залегающие горизонты подземных вод. Наиболее предпочтительно

использование для захоронения ЖРО горизонтов, обладающих коллекторскими свойствами, залегающих в гидродинамических зонах затрудненного водообмена, содержащих воды, не пригодные для использования в хозяйственных целях;

– геолого-технические условия сооружения скважин ПГЗ ЖРО должны давать возможность осуществить проходку и крепление скважин без аварий, надежно разобщить поглощающий горизонт и вышележащие горизонты по затрубному пространству обсадных колонн скважин.

Требования к обеспечению безопасности при эксплуатации. На ПГЗ ЖРО должен быть предусмотрен комплекс поверхностных сооружений, обеспечивающий выполнение следующих операций:

- прием, сбор и временное хранение ЖРО;
- передачу ЖРО на насосную станцию и по трубопроводам высокого давления к нагнетательным скважинам;
- регистрацию объемов принятых ЖРО;
- входной контроль показателей химического состава и радионуклидного состава ЖРО;
- контроль и регистрацию параметров технологического процесса, включая давление и объем нагнетания по каждой нагнетательной скважине;
- подготовку ЖРО к захоронению;
- сбор и удаление протечек ЖРО из технологических схем и из устьевой обвязки нагнетательных скважин.

На ПГЗ ЖРО должен быть предусмотрен *комплекс подземных сооружений*, обеспечивающий выполнение следующих операций:

- передачу ЖРО из поверхностных сооружений во вскрытый интервал поглощающего горизонта (нагнетательные скважины);
- проведение наблюдений, измерений и отбора представительных проб пластовых жидкостей из поглощающего горизонта и других контролируемых горизонтов (контрольные и наблюдательные скважины);
- разгрузку поглощающего горизонта (откачку воды из разгрузочных скважин).

Подземные сооружения ПГЗ ЖРО должны отвечать следующим требованиям:

– поглощающий горизонт и контролируемые горизонты должны быть надежно разобщены с поверхностью, выше- и нижезалегающими горизонтами, пересекаемыми скважинами;

– обсадные колонны должны быть герметичны по всей длине, затрубное и межтрубное пространства скважин должны быть заполнены изолирующим материалом;

– должна иметься возможность обследования технического состояния скважин и проведения планово-предупредительных и ремонтно-восстановительных работ;

– конструкция и техническое состояние скважин должны обеспечивать возможность их ликвидации при закрытии ПГЗ ЖРО.

Техническое обслуживание и ремонт скважин должны осуществляться по специальным программам. После выработки установленного ресурса скважины должно проводиться обследование ее технического состояния, на основании которого принимается решение о ремонте скважины, переводе ее в резерв или выводе из эксплуатации.

При захоронении ЖРО должны контролироваться:

– режимы работы нагнетательных и разгрузочных скважин, объем и давление нагнетания ЖРО, химический и радионуклидный составы ЖРО, их соответствие проекту и нормам технологического регламента;

– объемы и составы ЖРО, направленных на захоронение, общее количество захороненных ЖРО;

– состояние поверхностных сооружений ПГЗ ЖРО, герметичность трубопроводов, насосов и другого технологического оборудования, радиационная обстановка в помещениях, на участках ремонтных работ и технического обслуживания, на площадке ПГЗ ЖРО;

– техническое состояние подземных сооружений: буровых скважин, герметичность обсадных труб скважин, изоляция поглощающего горизонта, содержащего ЖРО, от поверхности и выше-лежащих горизонтов по затрубному и межтрубному пространствам скважин;

– составы подземных вод поглощающего и контролируемых горизонтов, наличие в них компонентов ЖРО;

– пьезометрическая поверхность (положение уровней) подземных вод поглощающего и контролируемого горизонтов;

- характеристики физических полей в скважинах и на поверхности, отражающие протекание процессов захоронения;
- состояние водных объектов и почвы в пределах санитарно-защитной зоны.

Для подтверждения безопасности захоронения ЖРО должен проводиться *мониторинг* глубинного захоронения ЖРО, направленный на определение контура распространения ЖРО в геологической среде и его изменений, своевременное получение информации о положении ЖРО или их компонентов в геологической среде и о протекании связанных с захоронением процессов, оценку технического состояния основных сооружений ПГЗ ЖРО, выявление признаков развития отказов и аварийных ситуаций на ранней стадии, *документирование и хранение* данных контрольных наблюдений и результатов их обработки в виде периодически пополняемых баз данных.

В составе системы мониторинга глубинного захоронения ЖРО должны иметься математическая модель, описывающая процессы захоронения ЖРО, периодически пополняемая результатами контрольных наблюдений.

В НП-055-04 и МУ ЭГХ 2003 приведены также требования по консервации и выводу из эксплуатации скважин и ПГЗ ЖРО, а также сценарии гипотетических аварийных ситуаций, которые могут возникнуть при эксплуатации ПГЗ ЖРО.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Почему захоронение является важнейшим этапом обращения с РАО?
2. Какие виды захоронений рекомендованы в настоящее время МАГАТЭ?
3. Что такое глубинное захоронение жидких РАО, используемое в России?
4. Назовите цели и принципы обеспечения безопасности захоронений РАО, сформулированные в НП-055-04.
5. Сформулируйте критерии обеспечения безопасности, которым должны удовлетворять ПЗРО.

6. Что такое концепция глубокоэшелонированной защиты применительно к ПЗРО?
7. Что такое принцип многобарьерности в системе захоронения РАО?
8. Для каких целей разрабатываются прогнозные оценки?
9. На какой период времени в проекте ПЗРО должно быть проведено обоснование безопасности захоронения РАО?
10. На какие этапы жизненного цикла хранилища РАО должны быть представлены обоснования безопасности?
11. Какие требования к характеристикам РАО предъявляются для размещения РАО в приповерхностное хранилище?
12. Что такое инженерные и естественные барьеры?
13. Какие требования предъявляются к характеристикам РАО для размещения их в глубокие геологические формации?
14. Какой барьер является основным для хранилищ в глубоких геологических формациях?
15. Какими нормативными документами регламентируется захоронение ЖРО на полигонах глубинного захоронения?
16. Сформулируйте основные требования, которым должна удовлетворять геологическая среда для глубинного захоронения ЖРО.

Глава 11. УЧЕТ, КОНТРОЛЬ И ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАО

11.1. Учет и контроль

Немного истории. В настоящее время в России имеются необходимые нормативные документы, регламентирующие *государственный учет и контроль радиоактивных веществ и РАО*.

Основы этой системы заложена в ст. 22 ФЗ [2], в соответствии с которой радиоактивные вещества и РАО подлежат государственному учету и контролю на федеральном, региональном и ведомственном уровнях в *системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО* для определения наличного количества этих веществ и материалов в местах их нахождения, предотвращения потерь, несанкционированного использования и хищений, предоставления органам государственной власти, органам управления использованием атомной энергии и органам государственного регулирования безопасности информации о наличии и перемещении радиоактивных веществ и РАО, а также об их экспорте и импорте.

Пока не были разработаны ФНП в области обеспечения учета и контроля радиоактивных материалов в 1997 г. в РФ были утверждены *«Правила организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов»* [109]. В развитие положений ст. 22 ФЗ было введено *«Положение о государственном учете и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации»* [110]. В 2006 г. введены в действие НП-067-05 [111]. Эти правила разработаны с учетом положений упомянутых документов, а также с учетом рекомендаций МАГАТЭ серии по безопасности (№111-F и №115) [29]. Важным дополнением к правилам НП-067-05 является НП-072-06, поскольку здесь решается ряд проблем, связанных с утилизацией ядерных материалов [112].

НП-067-05 распространяется на деятельность, связанную с обработкой, переработкой, хранением, захоронением и транспортированием РАО. Документ формирует единый подход к *системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и*

РАО. Принципы и требования, заложенные в нем, приближают систему учета и контроля радиоактивных веществ и РАО к системе учета и контроля, действующую для ядерных материалов.

Основными принципами учета и контроля РАО в организации являются:

- непрерывность ведения учета;
- периодичность проведения инвентаризации;
- определение факта наличия РАО;
- документирование результатов определения наличного количества и перемещения РАО;
- исправление *учетных данных* только путем внесения новой записи в *учетные документы* с сохранением ошибочно сделанной записи и с отметкой ее как ошибочной²³;
- исправление отчетных данных только путем представления новых отчетных документов;
- своевременность регистрации РАО и операций с ними;
- выявление нарушений и недостатков в учете и контроле РАО.

Учету и контролю РАО в организации подлежат все виды ЖРО и ТРО. В рамках системы государственного учета и контроля РАО с представлением отчетных документов в организации должны учитываться:

- ядерные материалы, если их количество меньше предельных количеств, приведенных в табл. 11.1. В случае равенства или превышения предельных количеств, указанных в табл. 11.1. (кроме закрытых радионуклидных источников), они должны учитываться в системе государственного учета и контроля ядерных материалов;
- ядерные материалы без ограничения количества, если они используются в закрытых радионуклидных источниках и герметичность этих источников не нарушена;
- радионуклиды в ОЯТ (кроме ОЯТ промышленных реакторов), если их удельная активность превышает минимальные значения, соответствующие отнесения радионуклидов к РАО;
- радионуклиды, содержащиеся в выбросах в атмосферу;
- радионуклиды, содержащиеся в сбросах сточных вод.

²³ *Учетные данные* – характеристики РАО, используемые в учетных документах. *Учетные документы* - документы, содержащие данные о наличии, количестве, составе, местонахождении и состоянии РАО.

Таблица 11.1

Предельные количества ядерных материалов,
учитываемые в системе государственного учета и контроля РАО

Ядерный материал	Предельное количество, г
1. Плутоний	15
2. Уран-233	15
3. Уран с обогащением по изотопу U-235 более природного	15 (по изотопу урана-235)
4. Нептуний-237	15
5. Совокупность ядерных материалов, перечисленных в пп. 1-4 настоящей таблицы	15 (по сумме масс плутония, урана-233, урана-235 и нептуния-237)
6. Уран с содержанием U-235 не более 0,72 %	500 000
7. Америций-241	1,0
8. Америций-243	1,0
9. Калифорний-252	0,001
10. Торий	500 000
11. Тритий	0,2

Задачи учета и контроля РАО, сформулированные в НП-067-05, отражают ту деятельность, которая должна быть развернута на предприятии для обеспечения надежной и правильной системы учета и контроля РАО:

- своевременный учет образования, получения (от других организаций), передачи (другим организациям), перемещения (между подразделениями организации, а также по технологическим цепочкам), расходования и других операций с РАО;

- постоянный контроль за перемещением, расходованием, изменением состояния, свойств и характеристик РАО;

- учет и контроль радионуклидов, выбрасываемых в атмосферу и сбрасываемых со сточными водами;

- создание и поддержание условий для своевременного перевода ядерных материалов в категорию РАО и их захоронения;

- создание и поддержание условий для своевременного выявления несанкционированных действий в отношении РАО и информирование об этих действиях компетентных органов, Ростехнадзора и др. органов;

- учет и контроль РАО, находящихся в пунктах хранения, и хронологическое документирование сведений о радиационных и физических характеристиках РАО;

- организация и проведение контроля качества и полноты поступающей информации о РАО;

- создание и поддержание условий получения достоверной информации о наличии, состоянии, месте нахождения РАО, наличном количестве РАО в организации, а также для своевременного перевода радиоактивных веществ в категорию РАО и передачи их в специализированные организации для долговременного хранения или захоронения;

- создание и поддержание условий для сбора, обработки и своевременного представления в систему государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО отчетных документов.

Организация учета и контроля. На предприятии учетом и контролем радиоактивных веществ и РАО занимается централизованная служба, представляющая информацию в систему государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО. Эта служба получает необходимую информацию от должностных лиц в подразделениях, ответственных за учет и контроль РАО и назначенных на это приказом руководителя организации. Основой представления информации являются учетные единицы.

Учетными единицами РАО при передаче сведений в систему государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО являются:

- для закрытого радионуклидного источника – отдельный источник, отработавший свой срок;

- для открытого радионуклидного источника - отдельный источник, либо определенное количество радиоактивного препарата в фасовке, либо партия радиоактивных веществ однородного радионуклидного состава, переведенная в категорию РАО;

- для РАО – упаковка, партия;

- для ОЯТ – облученная тепловыделяющая сборка, переведенная в РАО, поскольку дальнейшая переработка ее экономически нецелесообразна.

Документирование обращения с РАО. Все операции, связанные с перемещением РАО и(или) изменением его состояния должны оформляться документально, в том числе передача РАО с одной технологической операции на другую, перемещение из одного хранилища в другое, передачи между подразделениями. РАО должны ставиться на учет при образовании и(или) получении от другой ор-

ганизации с оформлением в организации учетной документации (паспортов, записей в журналах и т.д.) При переработке РАО на каждую установку или комплекс должен быть заведен отдельный журнал учета РАО. Перечни сведений, обязательных для занесения в журналах учета, приведены в НП-067-05.

Контроль и сохранность РАО и информации о РАО аналогичны сохранности ядерных материалов. НП-067-05 вводятся меры контроля доступа к РАО, позволяющие сохранить и(или) подтвердить имеющуюся информацию о РАО. Эти меры должны включать организационные и технические мероприятия, применения *устройств индикации вмешательства* (УИВ), а также их комбинации и обеспечивать непрерывный контроль доступа к РАО.

Примечание. *Устройство индикации вмешательства* – техническое устройство, имеющее индивидуальный номер или другой идентификатор, защищенное от возможности снятия и повторного использования без нарушения его целостности или изменения одного (нескольких) поддающихся регистрации параметров и предназначенное для обнаружения несанкционированного доступа к учетной единице (например, специальные виды пломб, имеющие идентифицированный номер).

УИВ должны устанавливаться в местах доступа в помещения, камеры, боксы, на контейнеры и другое оборудование, где имеются РАО, а также учетные единицы.

Работоспособность и состояние УИВ должны проверяться периодически с частотой большей, чем частота инвентаризации. Результаты таких проверок должны регистрироваться документально.

Система измерения РАО. Надежное функционирование системы учета и контроля РАО в организации определяется, прежде всего, достоверностью и воспроизводимостью (стабильностью) результатов измерений характеристик РАО. Поэтому в каждой организации должна быть разработана программа измерений, включающая в себя перечень методик выполнения измерений, технических средств, процедур отбора проб, сведений о периодичности измерений, требуемой точности измерений, сроках и форме представления результатов измерений. Кроме того, в каждой организации должна быть разработана *программа контроля качества измерений* и должен осуществляться контроль качества измерений в рамках системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО (гл.5 и 8).

Инвентаризация. В организации должны проводиться следующие виды инвентаризации РАО: первичная, плановая и внеочередная. Периодичность первичной инвентаризации – один раз в год, плановой – один раз в пять лет. Внеочередная инвентаризация должна проводиться в случае изменения организационно-правовой формы организации, установления факта хищения, после ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а также в иных случаях по решению руководства организации.

В НП-067-05 приведены требования: к процедуре проведения инвентаризации; к составу документации, представляемой инвентаризационной комиссии; к проведению подтверждающих измерений; проверкам неразборных и разборных учетных единиц; к оформлению и содержанию отчетного документа по результатам инвентаризации - акта инвентаризации РАО.

В случае выявления утраты, хищения, несанкционированного использования, при обнаружении недостачи (излишка) РАО должна предоставляться информация в соответствующие органы управления системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО, в Ростехнадзор в течение 24 ч. с момента установления указанных фактов.

Учетные и отчетные документы. В организации должны вестись учетные документы, содержащие данные обо всех РАО, подлежащих учету, включающих их количество и изменения количества РАО в организации. К носителям учетных данных относятся:

- подлинники сопроводительных документов;
- паспорта на закрытые и открытые радионуклидные источники и РАО;
- подлинники учетных документов – журналы учета РАО;
- электронные базы данных;
- паспорта на хранилища;
- результаты экспертных оценок.

В каждой организации должна соблюдаться система мер по сохранности учетных документов в течение длительного срока (не менее 10 лет). Кроме того, в каждой организации должны существовать *отчетные документы*, предоставляемые Ростехнадзору в установленные сроки.

Работа Центрального информационного и аналитического центра системы учета и контроля радиоактивных веществ и РАО описана в [113].

11.2. Перевод ядерных материалов в категорию РАО

Многие РАО объектов ИАЭ, и особенно РХП, содержат ядерные материалы. До недавнего времени их перевод в категорию РАО осуществлялся исключительно из соображений экономической целесообразности и в соответствии с определением РАО. Таким образом, если в РАО имеются ядерные материалы, но выделение их из общего состава РАО оказывается экономически нецелесообразным, то они считаются отходами и должны быть захоронены.

Примечание. Особенность обращения с ядерными материалами состоит в следующем. Ядерные материалы – это те же радионуклиды, что и радиоактивные вещества, но некоторые из них обладают одной существенной особенностью: при определенных условиях они могут делиться с дальнейшим переходом в СЦР. Их неконтролируемое накопление может создать условия для изготовления взрывного ядерного устройства. Поэтому на всех стадиях обращения с ядовитыми материалами большое внимание уделяется контролю их количества и учету в сопроводительных документах.

В табл. 11.1 приведены предельные количества ядерных материалов, учитываемые в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО, а не в системе государственного учета и контроля ядерных материалов. Отметим еще раз, что количества ядерных материалов, указанные в табл. 11.1 относятся к количеству, имеющемуся на предприятии. Однако на некоторых объектах ИАЭ его гораздо больше, и он находится в продуктах, выделение из которых сложно и дорого и его целесообразно перевести в категорию РАО. Этот вопрос регулируется НП-072-06 [112].

При переводе ядерных материалов в РАО необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

- наименование и количество продуктов, которые переводятся в категорию РАО, устанавливаются эксплуатирующей организацией, фиксируются в *учетных документах* и отражаются в *отчетных формах* системы государственного учета и контроля ядерных материалов;

- информация об образовавшихся РАО, содержащих ядерные материалы, фиксируется в учетных документах и отражается в от-

четных формах системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО;

- перевод продуктов в категорию РАО должен осуществляться в зоне баланса материалов по месту учета ядерных материалов;

- продукты, отнесенные к РАО, должны пройти *иммобилизацию*, если это необходимо, и быть переведены в состояние, отвечающее критериям приемлемости кондиционированных РАО для хранения или захоронения, и помещены в хранилище РАО;

Примечание. *Иммобилизация продуктов* - перевод продуктов, относимых к категории РАО в формы, препятствующие на современном технологическом уровне извлечению ядерных материалов, входящих в состав РАО, и дальнейшему использованию.

- ядерные материалы, содержащиеся в продуктах, переведенных в категорию РАО, должны быть сняты с учета в системе государственного учета и контроля ядерных материалов, а РАО, содержащие ядерные материалы, поставлены на учет в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО.

Решение о переводе продуктов в категорию РАО принимает руководитель эксплуатирующей организации на основании акта комиссии, образованной им для проведения этой работы. В категорию РАО продукты могут переводиться при соблюдении следующих условий (НП-076-06) [112 - 114]:

- невозможно или экономически нецелесообразно извлечение из переводимых продуктов содержащихся в них ядерных материалов с использованием современных технологий;

- продукты, относимые к категории РАО, могут быть иммобилизованы и переведены в состояние, отвечающее критериям приемлемости РАО.

Ядерные материалы, содержащиеся в иммобилизованных продуктах, должны быть сняты с государственного учета ядерных материалов, а сами продукты должны быть поставлены на государственный учет как РАО в течение одного рабочего дня с момента завершения процесса иммобилизации.

Одним из основных требований перевода продуктов, содержащих ядерные материалы, в категорию РАО является *перевод продуктов с ядерными материалами в форму, которая не позволяет извлечь ядерные материалы с последующим захоронением их с целью исключения возможного доступа посторонних лиц к РАО,*

содержащих их. До проведения процесса иммобилизации эксплуатирующая организация обязана обеспечить сохранность продуктов, относимых к категории РАО, в соответствии с действующими для ядерных материалов требованиями, изложенными в НП-030-05 [115].

11.3. Учет и контроль ядерных материалов

Государственный учет и контроль ядерных материалов, в том числе переводимых в категорию РАО²⁴, осуществляется в соответствии с НП-030-05. Прежде чем обратиться к его некоторым положениям, приведем определение некоторых специфических для системы учета и контроля терминов и определений:

Зона баланса материалов (ЗБМ) – территориально и административно установленная в пределах ядерной установки или пункта хранения ядерных материалов зона для учета и контроля ядерных материалов, в которой на основании измерений определяется их количество при каждом перемещении в зону и из нее и подводится баланс ядерных материалов за установленный период времени.

Ключевая точка измерений – место, где ядерные материалы могут быть измерены для определения их потока или наличного количества.

Средства контроля доступа – технические средства, предназначенные для обнаружения несанкционированного изъятия, использования, перемещения ядерных материалов, проникновения в зону ограниченного доступа. Подразделяются на системы наблюдения и УИВ.

Основные принципы *системы государственного учета и контроля ядерных материалов*, непосредственно относящиеся к системе учета и контроля РАО:

- эксплуатирующая организация должна устанавливать *зоны баланса материалов (ЗБМ)* в пределах ядерной установки или пункта хранения ядерных материалов;
- ядерные материалы должны классифицироваться по категориям в целях обеспечения дифференцированного подхода к опреде-

²⁴ За исключением ядерных материалов, содержащихся в РАО и находящихся в хранилищах РАО в настоящее время.

лению процедур, методов учета и контроля. Устанавливаются четыре категории ядерных материалов в ЗБМ [115];

- в каждой ЗБМ должны быть определены *ключевые точки измерения* ядерных материалов;

- к ядерным материалам применяется *средства контроля доступа*, подтверждающие достоверность предыдущих измерений количественных характеристик и атрибутивных признаков;

- учет ядерных материалов должен основываться на результатах измерений их количественных характеристик;

- для определения фактически наличного количества ядерных материалов в ЗБМ должны проводиться физические инвентаризации, в процессе которых выполняются проверки данных учета, атрибутивных признаков, измерения количественных характеристик. По завершении физической инвентаризации должен подводиться баланс ядерных материалов, определяться инвентаризационная разница и их погрешности в ЗБМ для каждого ядерного материала;

- выводы о недостатке (излишке), об отсутствии несоответствий в учете и контроле ядерных материалов должны делаться на основании результатов определения фактически наличного количества ядерных материалов, а также путем сравнения полученной величины инвентаризационной разницы с ее допустимой величиной для каждой ЗБМ;

- устанавливается единая система отчетности для всех уровней государственного учета и контроля ядерных материалов;

- система учета и контроля ядерных материалов в органах управления ИАЭ, осуществляющих учет и контроль ядерных материалов на ведомственном и федеральном уровне, эксплуатирующих организациях, организациях и ЗБМ должны обеспечивать *сохранность и защиту информации*.

В системе государственного учета и контроля ядерных материалов должны подлежать учету такие ядерные материалы как: плутоний, уран, уран-233, уран-235, торий, нептуний-237, америций-241, америций-243, калифорний-252, а также специальные неядерные материалы: литий-6, тритий, дейтерий, тяжелая вода.

Ядерные материалы заносятся в *Государственный регистр ядерных материалов*. Включение и исключение материалов из этого регистра производится органом управления ИАЭ, осуществляющим учет и контроль ядерных материалов на федеральном

уровне, на основе отчетных документов, представленных эксплуатирующей организацией.

11.4. Физическая защита

Обеспечение безопасности и сохранности объектов ИАЭ от диверсий и различных несанкционированных действий (хищений) достигается *системой физической защиты*, которая представляет собой совокупность организационных мероприятий, инженерно-технических средств и действий подразделений охраны, предназначенных для обеспечения физической защиты ядерных установок, радиационных источников, пунктов хранения, ядерных материалов и радиоактивных веществ.

Примечание. В начале 90-х годов прошлого столетия все вопросы физической защиты находились исключительно в ведении МВД. Основными документами, регламентирующими обеспечение физической защиты, были Уставы МВД, Руководство по организации технической эксплуатации инженерно-технических средств охраны, инструкции по режимным вопросам работы организации, в том числе списки лиц, допущенных к данному виду работ, и др. Основным документом, дающим право на эксплуатацию системы физической защиты в организации, был Акт межведомственной комиссии, в котором отражалось техническое и организационное состояние системы физической защиты.

Ст. 25 ФЗ [2] органам государственного регулирования безопасности было предписано осуществлять надзор за *физической защитой* ядерных установок, радиационных источников, пунктов хранения, ядерных материалов и радиоактивных веществ.

Физическая защита РАО при сборе, переработке, хранении и кондиционировании осуществляется в пределах ядерных установок, радиационных источников и хранилищ РАО. Требования к обеспечению физической защиты временных хранилищ РАО и ПЗРО подобны требованиям, предъявляемым к другим объектам ИАЭ.

В настоящее время регулирование безопасности в части физической защиты ядерных установок, радиационных источников, пунктов хранения, ядерных материалов и радиоактивных веществ, обеспечивают правила и требования ФНП [116]-[119].

В РФ создана *государственная система физической защиты*, которая представляет собой единую систему планирования, координации, контроля и реализации комплекса технических и органи-

зационных мер для осуществления физической защиты объектов ИАЭ, осуществляемой в целях предотвращения диверсий и хищений в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Каким нормативным документом определен единый подход и организация учета и контроля радиоактивных веществ и РАО ?
2. Назовите основные принципы учета и контроля радиоактивных веществ и РАО на предприятии.
3. Какие предельные количества ядерных материалов в организации подлежат учету и контролю в системе учета и контроля радиоактивных веществ и РАО?
4. Какие требования по учету и контролю, предъявляются к документации по РАО?
5. Что такое инвентаризация РАО и как часто она должна проводиться на предприятии?
6. Что такое УИВ?
7. Какими положениями необходимо руководствоваться при переводе ядерных материалов в категорию РАО?
8. Для каких целей необходима иммобилизация РАО, содержащих ядерные материалы?
9. Какие материалы относятся к ядерным материалам в системе учета и контроля ядерных материалов?
10. Каким документом устанавливаются требования по учету и контролю ядерных материалов и какова сфера его действий?
11. Что такое физическая защита и существуют ли особенности обеспечения её для объектов обращения с РАО?

Глава 12. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ РАО

Перевозки и транспортирование изделий и продукции объектов ИАЭ, в том числе и радиоактивных материалов, занимают существенное место в общем объеме деятельности предприятий.

Следует отметить, что с предприятия на предприятие перевозятся РАО всех категорий:

- ТРО в виде загрязненного грунта, различных отходов производств, отработавшие свой срок ИИИ, биологические препараты, ОЯТ и др.;

- ЖРО в виде растворов от испытаний в научно-исследовательских институтах, ЖРО от отмываемого оборудования и др.;

- газообразные РАО в виде обедненного гексафторида урана, радиоактивные газы или воздух, загрязненный радиоактивностью и др.

Необходимо также отметить, что большой объем РАО перевозится в пределах территорий самих предприятий. Особенно это касается ПЯТЦ и АЭС. Перевозки при этом осуществляются, как правило, автомобильным транспортом, а ЖРО, кроме автотранспорта, могут передаваться по трубопроводам. Для регулирования этой деятельности на предприятиях имеется соответствующая производственная документация: отраслевые стандарты, технологические регламенты, рабочие инструкции, методики и др., содержание которых соответствует действующей нормативной документации в области транспортирования РАО.

12.1. Обеспечение безопасности при транспортировании РАО

Введение в действие нормативного документа «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» НП-053-04 [120] отменило ПБТРВ-73 [121] и ОПБЗ-83 [122].

НП-053-04 соответствуют требованиям МАГАТЭ [123], что позволило гармонизировать с юридической и технической точек зрения процедуру транспортирования радиоактивных материалов в России с процедурой, принятой за рубежом.

В НП-053-04 для обозначения предмета транспортирования используется обобщающий термин: **радиоактивный материал** (РМ), который обозначает ядерный материал и (или) радиоактивное вещество, в том числе открытые и закрытые ИИИ, РАО и др. Устанавливаются требования безопасности при транспортировании РМ, в том числе требования к операциям и условиям, которые связаны с перемещением РМ (РАО) и составляют этот процесс: проектирование, изготовление, обслуживание и ремонт упаковочного комплекта; подготовка, загрузка, отправка, перевозка, включая временное (транзитное) хранение; разгрузка и приемка в конечном пункте назначения грузов и упаковок. Ниже представлены основные положения и требования, содержащиеся в НП-053-04 и позволяющие представить *процесс обеспечения безопасности транспортирования РАО в общем виде*.

НП-053-04 распространяются на транспортирование РМ всеми видами транспорта наземными, воздушными и водными путями и действуют на всей территории России и *не распространяются на внутренние перемещения РМ по территории предприятий*, где эти материалы производятся, используются и хранятся, за исключением некоторых требований, связанных с подготовкой для выезда на пути общего пользования.

Правила также не распространяются на некоторые виды РМ, например, связанные с ядерным оружием или имплантированные в организм человека и др., а также на РМ, удельная активность которых или общая активность груза которых не превышает значений, указанных в табл. I и II приложения 1 НП-053-04.

Основные положения. В НП-053-04 сформулированы основные положения обеспечения безопасности при транспортировании, которые относятся ко всем видам транспортируемых РМ, в том числе и к РАО:

1. Ограничение уровней излучения от упаковок и транспортных средств (автомобиль, прицеп или полуприцеп, железнодорожный подвижной состав, любое судно или любой трюм, отсек или обозначенная часть палубы судна, воздушное судно), радиоактивной загрязненности их поверхностей и выхода радиоактивного содержимого из упаковок.

2. Ограничение количества и радионуклидного состава транспортируемого в одной упаковке радиоактивного содержимого в

зависимости от способности упаковки обеспечивать в заданных пределах герметичность и радиационную защиту при различных условиях перевозки и способности радиоактивного содержимого к рассеянию.

3. Ограничение количества делящегося ядерного материала в упаковке и (или) установление требований к исключению условий возникновения СЦР при транспортировании таких материалов.

4. Использование упаковочных комплектов, безопасность эксплуатации которых должна обеспечиваться за счет конструкции упаковочного комплекта при минимальном объеме специальных организационно-технических мероприятий, проводимых при транспортировании.

5. Ограничение количества упаковок, перевозимых на одном транспортном средстве, исходя из степени их радиационной опасности и опасности возникновения СЦР.

6. Обеспечение необходимой маркировки, нанесения этикеток (знаков опасности) и предупредительных знаков на груз и транспортное средство.

7. Наличие российского сертификата (сертификата-разрешения) на конструкцию упаковки и сертификата (сертификата-разрешения) на перевозки и других сертификатов в случаях, предусмотренных НП-053-04.

8. При транспортировании радиационная безопасность должна обеспечиваться таким образом, чтобы величины индивидуальных доз, коллективных доз и вероятность облучения удерживались на разумно достижимом низком уровне, а дозы индивидуального облучения не превышали соответствующих установленных пределов.

9. Сотрудники, занятые обращением с упаковками и неупакованными РМ в ходе их приемки, загрузки, хранения, погрузки, разгрузки и перевозки, должны проходить соответствующее обучение по ядерной и радиационной безопасности, связанной с их деятельностью, и мерам предосторожности, которые необходимо соблюдать, чтобы обеспечить ограничение их облучения и облучения других лиц, которые могли бы пострадать в результате действий персонала, с обязательной периодической проверкой знаний.

10. РМ должны быть отделены от непроявленных кинопленок, фотопленок, рентгеновских пленок, фотопластинок и рентгеновских пластинок.

11. Грузоотправитель, грузополучатель и перевозчик груза обязаны осуществлять мероприятия по предупреждению транспортных происшествий и аварий, ликвидации их последствий в соответствии с требованиями НП-054-04 и правил перевозки грузов (опасных грузов), действующих на различных видах транспорта.

12. ПОК должны разрабатываться и осуществляться применительно к проектированию, изготовлению, испытаниям, составлению документации, использованию, обслуживанию и инспекциям в отношении всех РМ особого вида, РМ с низкой способностью к рассеянию и упаковок, а также в отношении транспортных операций и временного (транзитного) хранения с целью обеспечения выполнения положений настоящих Правил.

13. Если при перевозке груза не могут быть выполнены отдельные требования безопасности, то такая перевозка может быть осуществлена только в *специальных условиях*.

Примечание. *Специальные условия* – разработанные и утвержденные заинтересованными министерствами и ведомствами в установленном порядке положения, при выполнении которых может перевозиться груз РМ, не в полной мере удовлетворяющий требованиям НП-053-04 и действующими на каждом виде транспорта Правилам (инструкциям). Выполнение этих положений должно обеспечить, по крайней мере, такую же степень безопасности, как и при выполнении требований НП-053-04.

14. При транспортировании РМ дополнительно должны быть приняты во внимание другие опасные свойства этих материалов или материалов упаковки в соответствии с правилами перевозки опасных грузов. Необходимо также учитывать возможность образования продуктов, обладающих опасными свойствами, в результате взаимодействия РМ или материалов упаковок с атмосферным воздухом или водой.

Классификация упаковок. Для перевозки РМ различных видов – от РМ низкой активности и токсичности до РМ, содержащих делящиеся вещества высокой активности (например, ОЯТ), в НП-054-04 содержатся требования к упаковкам различных типов, в том числе: освобожденной упаковке; промышленной упаковке (ПУ) типов 1,2,3 (ПУ-1,ПУ-2,ПУ-3); упаковке типа А; упаковке типа В; упаковке типа С.

Наибольшие требования по конструкции, надежности и сохранению своих защитных свойств при различных внешних воздейст-

виях и авариях предъявляются к упаковкам типа С и наименьшие – к освобожденным упаковкам.

Для контроля уровня радиационного излучения от транспортируемых упаковок и некоторых неупакованных материалов (материалов с низкой удельной активностью типа НУА-1 и объектов с поверхностным радиоактивным загрязнением ОПРЗ-1) присваивается транспортный индекс (ТИ). ТИ характеризует максимальный уровень излучения в мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности упаковки, транспортного пакета, грузового контейнера или неупакованных материалов НУА-1 и ОПРЗ-1. Измеренное значение мощности эквивалентной дозы должно быть умножено на 100, и полученное число будет представлять собой ТИ. Максимальный ТИ отдельной упаковки или пакета не должен превышать 10, за исключением перевозки на условиях *исключительного использования*.

Примечание. *Исключительное использование* – использование одним грузоотправителем транспортного средства или большого грузового контейнера, с которыми все начальные, промежуточные и окончательные операции по погрузке и выгрузке осуществляются грузоотправителем или грузополучателем или по их указаниям.

Максимальный уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковки или транспортного пакета не должен превышать 2 мЗв/ч. Исключение составляют упаковки или транспортные пакеты, перевозимые железнодорожным, автомобильным и водным видами транспорта на условиях *исключительного использования*. ТИ определяет категорию груза по потенциальной радиационной опасности.

Для контроля за общим количеством упаковок, транспортных пакетов или грузовых контейнеров, содержащих делящийся материал, устанавливается индекс безопасности по критичности (ИБК), который для упаковок с делящимися ядерными материалами вычисляется путем деления 50 на число упаковок N , допустимое число которых определяется в соответствии с НП-053-04. При этом эффективный коэффициент размножения $K_{\text{эфф}}$ отдельной упаковки не должен превышать 0,95 в обычных, нормальных и аварийных условиях.

Сертификация. Для осуществления перевозок груза РМ в РФ должны быть оформлены сертификаты (сертификаты-разрешения).

Разработка, согласование и выдача этих сертификатов осуществляются в соответствии с установленным порядком государствен-

ным компетентным органом, назначаемым Правительством РФ.

Сертификаты выдаются на РМ, материал особого вида, на РМ с низкой способностью к рассеянию, на конструкцию упаковки, на перевозку и на специальные условия перевозки. Сертификат на конструкцию упаковки и сертификат на перевозку могут быть объединены в один сертификат. В НП-053-04 приведены правила обозначения сертификатов.

12.2. Требования санитарных правил

В соответствии ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 транспортирование радионуклидных источников излучения (в том числе отработавших свой ресурс и переведенных в категорию РАО) внутри помещений, а также на территории организации должно производиться в контейнерах и упаковках на специальных транспортных средствах, с учетом физического состояния источников излучения, их активности, вида излучения, габаритов и массы упаковки, с соблюдением условий безопасности.

На конструкцию транспортно-упаковочного контейнера (ТУК) и транспортных средств должны быть получены санитарно - эпидемиологические заключения на соответствие норм санитарных правил.

Наружные и внутренние поверхности транспортно-упаковочных контейнеров для перевозки РАО не должны иметь радиоактивную загрязненность выше уровней, приведенных в табл. 12.1 (табл.3.5.1. ОСПОРБ-99/2010).

Погрузка упаковок с РАО производится таким образом, чтобы мощность дозы излучения в воздухе и в кабине спецавтомобиля была минимальной, но не более 0,012 мГр/ч. Мощность дозы излучения в любой точке с наружной поверхности кузова спецавтомобиля не должна превышать 2 мГр/ч.

Обеспечение безопасности движения поездов с вагонами, загруженными РАО, осуществляется в соответствии с нормативными актами, регулирующими работу железнодорожного транспорта. При осуществлении перевозок радиационных упаковок морем необходимо руководствоваться правилами морских перевозок.

Таблица 12.1

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхности
транспортных средств, част/(см²·мин)

Объект загрязнения	Вид загрязнения			
	Снимаемое (нефиксируемое)		Неснимаемое (фиксированное)	
	Альфа- активные радионукли- ды	Бета- активные радионук- лиды	Альфа- активные радионукли- ды	Бета- активные радионукли- ды
Наружная по- верхность охр- ной тары контей- нера	Не допускается	Не допускает- ся	Не регламен- тируется	200
Наружная по- верхность вагона контейнера	Не допускается	Не допускает- ся	Не регламен- тируется	200
Внутренняя по- верхность охр- ной тары контей- нера	1,0	—	Не регламен- тируется	2000
Наружная по- верхность транс- портного контей- нера	1,0	—	Не регламен- тируется	2000

На конструкцию транспортно-упаковочного контейнера (ТУК) и транспортных средств должны быть получены санитарно-эпидемиологические заключения на соответствие норм санитарных правил.

Наружные и внутренние поверхности транспортно-упаковочных контейнеров для перевозки РАО не должны иметь радиоактивную загрязненность выше уровней, приведенных в табл. 12.1 (табл.3.5.1. ОСПОРБ-99/2010).

Погрузка упаковок с РАО производится таким образом, чтобы мощность дозы излучения в воздухе и в кабине спецавтомобиля была минимальной, но не более 0,012 мГр/ч. Мощность дозы излучения в любой точке с наружной поверхности кузова спецавтомобиля не должна превышать 2 мГр/ч.

Обеспечение безопасности движения поездов с вагонами, загруженными РАО, осуществляется в соответствии с нормативными

актами, регулирующими работу железнодорожного транспорта. При осуществлении перевозок радиационных упаковок морем необходимо руководствоваться правилами морских перевозок.

12.3. Обеспечение физической защиты при транспортировании РАО

Требования документов, представленных в гл. 11 к системам физической защиты объектов ИАЭ при обращении с РАО, ограничиваются территорией этих объектов. Однако промышленные предприятия и организации (промышленные предприятия, научно-исследовательские институты, медицинские учреждения, и др.) передают РАО для хранения и захоронения в специализированные организации. В ряде случаев (по отдельным договорам) РАО с одного предприятия перевозятся на другое для захоронения или при возврате РАО после переработки продуктов или изделий.

Основные требования к организации физической защиты ядерных материалов, ядерных установок при перевозке и транспортировании приведены в [116]. Там же приводятся категории перевозок: транспортирование в международном сообщении; межобъектовые перевозки и транспортирование; внутриобъектовые – перевозка и транспортирование в пределах ядерного объекта внутри отдельных территорий (площадок) и между ними.

Транспортирование ядерных материалов, ядерных установок в *международном сообщении* осуществляется только при выполнении государством-отправителем и государством-получателем, а также иными государствами, по территории которых будет осуществляться транспортирование, требований Конвенции о физической защите ядерных материалов [5]. Требование по обеспечению физической защиты при *межобъектовых* перевозках и транспортировании устанавливается ФНП. Требования по обеспечению физической защиты при *внутриобъектовых* перевозках и транспортировании устанавливаются *ведомственными нормативными актами*.

Требования по обеспечению физической защиты при перевозке и транспортировании с выездом *за пределы ядерного объекта по территории закрытого административно-территориального образования* определяется руководством объекта по результатам уязвимости и оценки эффективности системы физической защиты и

устанавливается на уровне не ниже уровня требований, предъявляемым к внутриобъектовым перевозкам и транспортированию.

Требования к физической защите при транспортировании РАО вне территории предприятий изложены в ФНП «Правила физической защиты радиоактивных веществ и радиационных источников при их транспортировании» (НП-073-06). Эти требования распространяются на РАО, образовавшиеся на предприятиях, содержание ядерных материалов на которых не превышает количеств, приведенных в табл. 11.1.

Следует отметить, что в этом документе устанавливаются требования физической защиты для радиоактивных веществ и радиационных источников, без выделения требований к физической защите при транспортировании РАО. Это связано с тем, что РАО, в соответствии со своим определением, рассматриваются как радиоактивные вещества (РВ) и радиационные источники (источники ионизирующего излучения), не подлежащие дальнейшему использованию.

Таблица 12.2

Радиоактивные вещества «РВ категории», определяющие требования к физической защите при транспортировании РАО

РВ категории	РАО, относимые к данной категории по активности
РВ категории I	РВ, активность которых в грузе • для радионуклидов равна или больше соответствующих значений, указанных в прил. 2 НП-073-06; • для радионуклидов, не указанных в прил. 2, равна или больше 3000 А₂.
РВ категории II	Радиоактивные вещества, активность которых в грузе • для радионуклидов меньше соответствующих значений, указанных в прил. 2; • для радионуклидов, не указанных в прил. 2, - меньше значений 3000 А₂.
РВ категории III	• материалы с низкой удельной активностью (НУА-1); • объекты с поверхностным радиоактивным загрязнением (ОПРЗ-1); • радиоактивные вещества, перевозимые в освобожденных упаковках.

Примечания к табл. 12.2:

1. Приложения 1 и 2 относятся к НП-073-06. 2. Величины активности А₂ для радионуклидов могут быть определены по нормативным документам в области обеспечения безопасности при транспортировании РМ, используя сведения и таблицы, приведенные в прил. 1 к нормативному документу НП-053-04. 3. Классифи-

кация РМ (НУА-1), объектов с поверхностным загрязнением (ОПЗ-1) и упаковок в соответствии с классификацией, принятой в нормативных документах в части обеспечения безопасности при транспортировании РМ.

Для дифференцированного подхода к обеспечению физической защиты радиоактивных веществ и РАО разной активности и состава при их транспортировании устанавливаются три категории: *РВ категории I, РВ категории II, РВ категории III*, приведенные в НП-073-06. В табл. 12.2 приведено категорирование РАО с учетом указанного «РВ категорий».

В НП-073-06 определены общие требования к системам физической защиты для всех *РВ категорий*, а также (отдельные, специальные) индивидуальные требования с учетом категории транспортируемых радиоактивных веществ (в том числе РАО). Самые жесткие требования к системе физической защиты предъявляются при транспортировании *РВ категории I*. К физической защите радиоактивных веществ *РВ категории II*, кроме требований общего характера, специальных требований не предъявляется. При транспортировании *РВ категории III* физическая защита должна обеспечиваться исходя из практической целесообразности сохранности груза.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Каким документом регламентируется обеспечение безопасности при транспортировании РМ? Дайте краткую характеристику этого документа, в том числе сферу его распространения.
2. Что такое РМ? Являются ли РАО радиоактивными материалами (РМ)?
3. Сформулируйте основные положения обеспечения безопасности при транспортировании РМ.
4. Существуют ли какие-либо особенности транспортирования РАО?
5. Что такое ТИ?
6. Что такое ИБК?
7. Приведите основные санитарно-эпидемиологические требования при транспортировании РАО. Какими документами эти требования регламентируются?
8. В каких документах сформулированы требования по физической защите при транспортировании РАО?

Глава 13. ОТЧЕТ ПО ОБОСНОВАНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

13.1. Общие вопросы

Отчет по обоснованию ядерной и радиационной безопасности (ООБ) видов деятельности, на которые эксплуатирующая организация получает лицензию, является одним из основных документов в составе комплекта документов, обосновывающих заявленную деятельность предприятия. В соответствии с Положением о лицензировании ООБ должен ежегодно представляться в Ростехнадзор [68],[73]. Содержание этого документа должно отражать текущее состояние ядерной, радиационной, технической, пожарной безопасности, состояние с учетом и контролем ядерных материалов, РВ и РАО, физической защитой предприятия, готовности к ликвидации аварийных ситуаций и др.

Обоснование безопасности системы обращения с РАО представляется эксплуатирующей организацией, как правило, в рамках ООБ ядерной установки предприятия или радиационного источника. Для специализированных пунктов хранения и (или) пунктов захоронения РАО, а также для некоторых крупных и специфических хранилищ и пунктов захоронения РАО, находящихся в составе ядерной установки, может подготавливаться отдельный ООБ.

В настоящее время в Ростехнадзоре разработан РБ-050-09 [124], регламентирующий требования к содержанию и составу ООБ, порядку их подготовки и оформлению. Учитывая опыт предыдущих разработок ООБ, ниже приведено *примерное содержание* ООБ (по главам), в котором содержатся требования к хранилищу (пункту захоронения) РАО:

Введение.

Глава 1. Общее описание.

Глава 2. Характеристика площадки и района размещения хранилища РАО.

Глава 3. Общие положения по проектированию хранилища, его зданий, систем и элементов.

Глава 4. Системы обращения с радиоактивными отходами, сбросы и выбросы радиоактивных веществ.

Глава 5. Радиационная безопасность и радиационный контроль.

Глава 6. Ядерная безопасность.

Глава 7. Анализ аварий.

Глава 8. Оценка долговременной безопасности хранилища РАО.

Глава 9. Ввод в эксплуатацию.

Глава 10. Организация эксплуатации.

Глава 11. Пределы и условия безопасной эксплуатации. Эксплуатационные пределы и условия.

Глава 12. Обеспечение качества.

Глава 13. Вывод из эксплуатации или закрытие хранилища РАО.

Заключение.

В зависимости от характеристик конкретного хранилища РАО и его статуса в момент разработки ООБ, состав глав ООБ и их содержание может изменяться. Например, для хранилища РАО траншейного типа, который находится в эксплуатации и отходы которого не содержат делящихся ядерных материалов, гл. 3, 6 и 8 являются лишними и должны быть исключены из состава ООБ.

В 2006 г. в МАГАТЭ вышел документ «*Обобщенные принципы безопасности*» [125], в котором изложена общая философия обеспечения безопасности, представленная в виде десяти принципов и относящаяся к любой деятельности в области ИАЭ. В нем определены цель безопасности и концепция безопасности, образующие основу норм и программ МАГАТЭ. Эти принципы в той или иной степени должны быть отражены в ООБ.

Принцип 1: *Ответственность за безопасность*. Основную ответственность за безопасность должен нести человек или организация, ответственные за установки или вид деятельности, связанные с увеличением радиационного риска.

Принцип 2: *Роль правительства*. Правительство должно создать и поддерживать правовую правительственную структуру безопасности, включая независимый регулирующий орган.

Принцип 3: *Управление безопасностью*. В организациях, связанных с безопасностью, а также на установках и для видов деятельности, связанных с увеличением радиационного риска, должна быть создана и поддерживаться эффективная система управления.

Принцип 4: *Оправданность установок и видов деятельности*. Установки и виды деятельности, связанные с увеличением радиационного риска, должны быть полезны для всех.

Принцип 5: *Оптимизация защиты*. Защита должна быть оптимизирована таким образом, чтобы обеспечивать наивысший разумно достижимый уровень безопасности.

Принцип 6: *Ограничение индивидуального риска*. Должны приниматься такие меры контроля радиационного риска, чтобы ни один человек не подвергался риску неприемлемой величины.

Принцип 7: *Защита нынешних и будущих поколений*. Люди и окружающая среда, как нынешнее, так и будущие, должны быть защищены от радиационного риска.

Принцип 8: *Предотвращение аварий*. Должны приниматься все практически возможные меры для предотвращения ядерных или радиационных аварий и для ослабления их последствий.

Принцип 9: *Готовность на случай аварий*. Должны быть подготовлены планы оказания экстренной помощи на случай ядерных или радиационных аварий.

Принцип 10: *Защитные мероприятия по уменьшению существующих или неконтролируемых радиационных рисков*. Защитные мероприятия по уменьшению существующих или неконтролируемых радиационных рисков должны быть обоснованы и оптимизированы.

Общие требования к ООБ. Содержание ООБ должно быть достаточно полным, чтобы для оценки безопасности не требовалось дополнительно рассматривать проектные, конструкторские, эксплуатационные и иные документы.

Информация, приводимая в обоснование безопасности хранилища РАО, не должна носить декларативный и эмоциональный характер. Для обоснования безопасности хранилища РАО могут быть представлены аналитические и компьютерные расчеты, ссылки на доступную научно-техническую литературу, результаты мониторинга, приведенные в отчетных документах эксплуатирующей организации.

В ООБ должны быть отражены выполнения требований нормативных документов по безопасности при обращении с РАО и при эксплуатации хранилища. Анализ этих документов был дан в предыдущих главах книги.

13.2. ООБ безопасности хранилища РАО

Рассмотрим основные требования при формировании ООБ и некоторые особенности формирования ООБ хранилища РАО, связанные со спецификой обеспечения безопасности при эксплуатации хранилища.

Особое место в составе ООБ занимает гл. 1, в которой *в сжатом виде* должна быть представлена основная информация о содержании всех разделов ООБ. Она предназначена, в основном, для ознакомления местных органов власти, общественных организаций и населения с концепцией и основными техническими решениями по обеспечению безопасности хранилища.

В гл. 2 ООБ должна быть представлена информация о месте размещения хранилища РАО, дана характеристика района и площадки размещения и оценено, насколько эти условия приемлемы для его размещения и обеспечения безопасности.

Степень детальности информации о месте размещения хранилища должна быть приведена в зависимости от его расположения: на поверхности или под поверхностью земли. Эти сведения должны быть достаточны, чтобы можно было произвести оценку радиационного воздействия хранилища РАО на население и окружающую среду, связанной с особенностями его размещения (близость грунтовых вод, землетрясение, обильные дожди и т.д.). В ООБ необходимо привести следующие сведения о природных характеристиках района размещения хранилища РАО:

- сведения о географическом расположении хранилища РАО, размещении ближайших населенных пунктов, рек, водоемов и т.д., а также сведения о границах санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения;

- топографические условия размещения, в том числе границы водораздела, уклоны местности вблизи расположения хранилища, наличие оврагов, болот, максимальные и минимальные высотные отметки размещения хранилища;

- гидрометеорологические и климатические условия, включая температуру воздуха, наводнения, сгон и нагон воды, смерч и др.;

– геолого-тектонические условия, в том числе описание литологии и стратиграфии района²⁵, состав и мощность четверичных отложений, строение и глубины залегания кристаллического фундамента; перечень опасных геологических процессов и явлений, свойственных данному району, а также сведения о прогнозах тех неблагоприятных изменений геологических, гидрологических и сейсмических условий, которые могут активизировать тот или иной опасный геологический процесс на этапах сооружения и эксплуатации хранилища РАО;

– характеристики сейсмичности района.

– характеристики грунтов с указанием распределения сжимаемых (глинистых, песчаных) и несжимаемых скальных и полускальных грунтов, в том числе, наличие неустойчивых грунтов с нестабильными связями и свойствами и др.;

– гидрогеологические условия, включая глубину и сезонные колебания грунтовых вод, связь водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами, области подпитки и разгрузки водоносных горизонтов, направления и скорости потока, коэффициенты фильтрации грунтов, характеристики всех гидрогеологических и геохимических процессов, влияющих на перенос радионуклидов при утечке их из хранилища РАО, выбросах и сбросах РВ.

Необходимо также привести сведения по техногенным условиям размещения хранилища РАО и их влияние на безопасность хранилища, включая: падение летательного аппарата; пожар по внешней причине; взрывы на соседних объектах, в том числе перемещающихся вблизи хранилища; наводнение, затопление, прорыв водохранилищ или дамб (плотин); выбросы взрывоопасных, коррозионно-опасных паров, газов и аэрозолей в атмосферу; наличие коммуникаций, трубопроводов и других промышленных объектов, способных оказать влияние на безопасность хранилища РАО; отсутствие полезных ископаемых в районе размещения хранилища или любых других объектов, способных вызвать интерес к этому району в будущем.

²⁵ *Литология* – наука об осадочных породах, их составе, строении, закономерностях и условиях их образования и изменении. *Стратиграфия* – раздел геологии, изучающий последовательность формирования горных пород и их пространственные взаимоотношения.

В гл. 3 ООБ должны быть представлены основные принципы, критерии и требования безопасности, реализованные в проекте хранилища, а также сведения о системах и элементах хранилища РАО. Для хранилищ РАО, представляющих собой капитальные наземные сооружения, должна быть приведена классификация зданий, сооружений, систем и элементов, в том числе оценка результатов различных воздействий и нагрузок на здания, обосновывающая прочность конструкций хранилища. Для хранилища РАО, находящегося в эксплуатации, в случае принятия решения об увеличении объема РАО, принимаемых на хранение, в ООБ должно быть представлено обоснование прочности конструкции, не противоречащее проектным требованиям и требованиям соответствующих нормативных документов.

Наиболее детально в ООБ должны быть представлены основные системы, обеспечивающие безопасное функционирование обращения с РАО, принимаемых на захоронение (хранение) в хранилище (гл. 4). Это, прежде всего, система хранения и транспортно-технологическая система. Также должна быть представлена информация по другим (вспомогательным) системам, обеспечивающим нормальное функционирование систем обращения с РАО. Это системы: электроснабжения, дренажная система, вентиляции и очистки воздуха, спецканализации, обращения с вторичными РАО и др.

Должна быть представлена информация о характеристиках РАО, поступающих в хранилище. Характеристики РАО должны соответствовать *критериям приемлемости* для размещения РАО в данном хранилище. Необходимо привести сведения о контейнерах, используемых для постоянного или временного хранения РАО и транспортирования, включая транспортно-упаковочные комплекты, их конструкции с указанием проектных характеристик (прочность, стойкость к различным воздействиям, долговечность и др.). Необходимо также представить информацию о системе приема и входного контроля РАО и упаковок РАО.

Для системы обращения со вторичными РАО должны быть указаны источники образования РАО всех категорий (ГРО, ЖРО, ТРО), порядок обращения с ними, уровень сбросов и выбросов радиоактивных веществ. Должно быть показано соответствие уровня

сбросов и выбросов с пределами допустимых норм сброса и выбросов.

В гл. 5 должны быть приведены принципы и критерии обеспечения радиационной безопасности, включая реализацию принципа глубоководноизолированной защиты.

Должна быть представлена оценка эффективной индивидуальной дозы и коллективной дозы облучения персонала при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте систем (элементов) хранилища РАО. Также должны быть приведены результаты расчета доз облучения персонала и населения при нормальной эксплуатации и авариях.

Должна быть представлена система радиационного контроля в хранилище РАО, в том числе виды и объем радиометрического и дозиметрического контроля, перечень радиометрических и дозиметрических приборов стационарного и переносного типов для осуществления постоянного и периодического контроля.

Гл. 6 включается в состав ООБ, если РАО содержат делящиеся ядерные материалы (плутоний, уран-233, уран-235), а также, если в результате хранения или захоронения таких РАО возможно накопление делящихся материалов и создания условий возникновения СЦР. В этой главе должны быть представлены принципы обеспечения ядерной безопасности, технические средства и организационные мероприятия по предотвращению возникновения СЦР и ограничению ее возможных последствий. Должны быть представлены все заключения ОЯБ ФЭИ по ядерно-опасным участкам.

В гл. 7 необходимо представить результаты анализа проектных и запроектных аварий и их последствий как для периода эксплуатации хранилища РАО, так и после его вывода из эксплуатации (закрытия). При этом следует руководствоваться следующими понятиями [90]:

Авария – нарушение эксплуатации хранилища РАО, при котором произошел выход радиоактивных веществ и (или) ионизирующего излучения за предусмотренные проектом хранилища для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями.

Авария проектная – это авария, для которой *проектом определены исходные события* и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности и (или) иные технические средства и организационные мероприятия, обеспечивающие ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

Авария запроектная – это авария, вызванная *не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями* или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений работников (персонала).

Исходными событиями для *проектных аварий* на хранилище РАО могут являться:

- внешние воздействия природного происхождения, свойственные району размещения хранилища (наводнение, землетрясение, обильные дожди и снегопады и т.д.);
- внешние воздействия техногенного происхождения (воздушная ударная волна, обусловленная взрывом, возможным на соседнем объекте, проходящем транспорте и т.п.);
- полное прекращение электроснабжения (основного и резервного);
- пожар;
- падение отдельных упаковок РАО при транспортно-технологических операциях и размещении РАО в сооружениях хранилища;
- отказы оборудования систем обращения с упаковками РАО;
- падение технологического оборудования и строительных конструкций на упаковки РАО;
- взрыв накопленных газов;
- повышение температуры ЖРО;
- другие причины.

Исходными событиями для *зaprоектных аварий* на хранилищах РАО могут быть:

- падение летательного аппарата;
- ударная волна силой 30 кПа и более;
- пожар с температурой на поверхности сооружений хранилищ РАО более 800 °С в течение 1 ч;
- воздействие строительной сваи (бура) на верхнее перекрытие сооружений хранилища;
- ошибка в действиях персонала;

- террористический акт;
- другие причины.

Примечание. Хотя в списке исходных событий, в результате которых возможно возникновение аварийных ситуаций, «ошибка персонала» занимает скромное место, в научных кругах существует устойчивое мнение [126], что причиной почти 80 % аварий является «человеческий фактор». «Ошибки персонала» необходимо рассматривать как частный случай «человеческого фактора», поскольку последствия многих исходных событий можно избежать, если учесть их последствия еще при проектировании хранилища РАО, принимая соответствующие технические решения и правильно выбирая место для размещения хранилища. Кроме того, даже приняв в отношении обеспечения безопасности правильное решение, авария может возникнуть из-за несоблюдения технологического цикла при сооружении объекта и низкого качества используемых материалов, а также некачественного выполнения работ по строительству объекта и т.д. Наконец, инструкции, составленные человеком для действий персонала в аварийных ситуациях, могут содержать неоднозначные руководства по действиям оператора и др.

Пути протекания и последствия аварии определяются исходным событием и техническими характеристиками хранилища РАО. Для более детального представления развития аварий разрабатываются прогнозные расчеты, например, расчеты по снижению защитных свойств инженерных барьеров за счет образования химических соединений и радиационно-физических факторов, оценки последствия микробиологического и (или) химического разложения РАО и др.

Если на предприятии за отчетный период произошла авария (инцидент, происшествие), то это событие должно быть классифицировано в соответствии с НП-047-06 [127] и описано. Должны быть приведены результаты расследования причин возникновения аварии, а также корректирующие мероприятия, исключающие возникновение подобных аварий в дальнейшем.

Оценка долговременной безопасности хранилища РАО в ООБ вынесено в отдельную гл. 8 и, как правило, представляется для тех хранилищ РАО, для которых такие оценки не были произведены в проекте либо критерии таких оценок изменились в процессе эксплуатации хранилища РАО. В зависимости от состава РАО, размещенных и предполагаемых к размещению в хранилище, оценка долговременной безопасности проводится на период хранения РАО в несколько сотен лет. Для прогнозных расчетов миграции радионуклидов из хранилища в геосферу выбираются наиболее «опасные» радионуклиды, имеющие большой период полураспада и

(или) характеризующиеся высокой токсичностью. Критерием прогноза, как правило, является превышение удельной активности радионуклидов в воде первого от поверхности постоянно действующего водоносного горизонта на расстоянии примерно 500 м от хранилища РАО.

Для вводимых в эксплуатацию хранилищ РАО (гл. 9) должна быть представлена информация об организации, объеме, последовательности и сроках наладочных работ и испытаний, осуществляемых при вводе хранилища в эксплуатацию.

В гл. 10 должна быть представлена информация по следующим вопросам эксплуатации:

- организация управления эксплуатацией хранилища РАО, в том числе структуры предприятия, которые непосредственно занимаются обращением с РАО и эксплуатацией хранилища РАО;
- техническое обслуживание и ремонт;
- подбор персонала для работы в системе обращения с РАО, квалификация персонала и система контроля уровня квалификации и мероприятия по поддержанию требуемого уровня квалификации;
- общая эксплуатационная документация и непосредственно относящаяся к работам по обращению с РАО;
- система учета и контроля РАО, в том числе порядок работы с документацией по учету и контролю;
- система физической защиты как самого хранилища, так и организация физической защиты в рамках объекта ИАЭ, на территории которого находится хранилище РАО;
- обеспечение технической безопасности (анализ технологических операций с точки зрения технической безопасности, технические средства и организационные мероприятия, обеспечивающие повышение технической безопасности, нормативная документация и инструкции по безопасности);
- обеспечение пожарной безопасности (технические средства, организационные мероприятия, документация по обеспечению пожарной безопасности и др.);
- аварийное планирование (план мероприятий по защите персонала и населения от радиационной аварии и ее последствий, тренировки персонала и др.)

В гл. 11 должны быть рассмотрены вопросы обеспечения безопасности, связанные с требованиями к технологическому процессу

обращения с РАО и условиям поддержания хранилища в безопасном состоянии. Для этого в ООБ должны быть приведены и обоснованы, следующие характеристики [90]:

- *условия безопасной эксплуатации (УБЭ)* – это, установленные в проекте условия по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и условиям технического обслуживания *систем (элементов), важных для безопасности*, при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасной эксплуатации и (или) критериев безопасности;

- *пределы безопасной эксплуатации (ПБЭ)* – это, установленные в проекте *граничные значения* параметров технологического процесса обращения с РАО или условий хранения РАО, отклонения от которых *могут привести к аварии*;

- *эксплуатационные пределы* – это граничные значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и хранилища РАО, заданные в проекте для *нормальной эксплуатации*;

- *эксплуатационные условия* – это условия эксплуатации хранилища РАО, определенные в проекте (документации) хранилищ РАО, как *нормальные условия*.

Как видно из приведенных выше определений, УБЭ и ПБЭ связаны с работоспособностью и характеристиками систем, важных для эксплуатации, а эксплуатационные пределы и условия – с системами, обеспечивающими нормальные условия эксплуатации хранилища РАО.

УБЭ и ПБЭ для различных видов хранилищ РАО могут существенно различаться. Так емкости-хранилища ЖРО высокого и среднего уровня активности имеют, как правило, несколько систем важных для безопасности, обеспечивающих поддержание технологических параметров хранения ЖРО в заданных пределах, в том числе: системы поддержания температуры, состава и давления газовой смеси над поверхностью ЖРО, уровня ЖРО в емкости относительно дна, плотности осадка на дне емкости и др. Для некоторых типов емкостей-хранилищ УБЭ и ПБЭ хранения ЖРО, нормальные условия эксплуатации, составляют от 40 до 60 °С, а ПБЭ считается температура хранения 70 °С. Если температура будет выше 70 °С, то в сочетании с другими факторами существенно повышается риск возникновения аварии.

По другому обстоит дело с системами обеспечения безопасности для хранилищ РАО, представляющих собой поверхностные водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища. Для этих хранилищ РАО системы обеспечения безопасности связаны с поддержанием уровня ЖРО в заданных пределах относительно верхней кромки ограждающей дамбы или обваловки водоема, а также поддержания гидро-

технических сооружений в состоянии, при котором утечки ЖРО через них не превышают эксплуатационные пределы.

В настоящее время, в ряде нормативных документах по безопасности, регламентирующих требования к безопасности обращения с РАО, в том числе требования к хранению и захоронению всех категорий РАО, приведены перечни параметров для обеспечения УБЭ. Требования по ПБЭ должны быть определены в проектной и эксплуатационной документации хранилищ РАО.

Гл. 12 разрабатывается в соответствии с требованиями РБ-003-98 [94], а также с учетом положений государственных стандартов ГОСТ Р ИСО серии 9000, 10000, 14000 и рекомендаций документов МАГАТЭ. Деятельность предприятия в части обеспечения качества, как правило, образует систему обеспечения качества на предприятии, охватывающей все стороны деятельности предприятия, в том числе обращения с РАО, вопросы хранения и захоронения РАО. В главе необходимо раскрыть существо этой системы и показать взаимосвязь ее элементов между собой. Должна быть представлена ПОК на предприятии и частные ПОК, относящиеся к рассматриваемой деятельности, а также стандарты предприятия, регламентирующие его деятельность в части обеспечения качества.

В гл. 13 должно быть представлено обоснование безопасности заключительного этапа обращения с РАО: вывод из эксплуатации или закрытие хранилища РАО, выбор которого определяет принципиально разный подход к характеру работ на этом этапе.

Вывод из эксплуатации хранилища РАО – деятельность, осуществляемая после прекращения эксплуатации хранилища, исключая его использование по проектному назначению и направленная на обеспечение безопасности работников (персонала), населения и окружающей среды вплоть до освобождения от регламентации нормами радиационной безопасности. Этот термин подобен термину «снятие с эксплуатации», приведенный в Объединенной конвенции.

Закрытие пункта захоронения (хранилища) РАО – деятельность, осуществляемая после завершения размещения в хранилище РАО и направленная на приведение его в состояние, которое будет оставаться безопасным в период потенциальной опасности размещенных в нем РАО.

Разъяснения по поводу различия этих терминов, обозначающих прекращение деятельности хранилища РАО, приведены в гл. 2. Здесь необходимо отметить, что принятие решения о выводе из эксплуатации вместо закрытия хранилища РАО требует проведения работ по реабилитации территории и ее санации, для того, чтобы было обеспечено освобождение территории от регламентации НРБ-99/2009. Поэтому закрытие хранилища РАО является естественным процессом завершения жизненного цикла хранилища РАО, если, конечно, не имеется каких-либо прогнозов неблагоприятных развитий событий по влиянию хранилища на окружающую среду после завершения размещения РАО в недалеком будущем (например, из-за значительного разрушения физических барьеров или опасности подтопления закрытого хранилища вследствие изменения погодных условий или гидрогеологических условий региона).

Необходимо отметить также, что вывод или закрытие хранилища РАО должно производиться по отдельному проекту, разработка которого должна начаться за несколько лет до предполагаемого срока завершения работ по размещению РАО. Концепция вывода из эксплуатации или закрытия хранилища должна быть разработана еще на стадии создания проекта хранилища РАО и должна подтверждаться и (или) корректироваться на каждом этапе жизненного цикла хранилища. Эта концепция и ее изменения, а также обоснования этих изменений, должны находить отражение в ООБ хранилища РАО.

В гл. 14 должны быть представлены основные выводы по оценке обеспечения ядерной и радиационной безопасности хранилища с точки зрения его размещения в данном регионе, правильности выбранной конструкции хранилища, радиационного влияния хранилища на персонал и население при нормальной эксплуатации и в случае возникновения аварий, обеспечения безопасности в долгосрочной перспективе после закрытия хранилища, организации учета и контроля РАО и др.

Должно быть приведено заключение о соответствии или несоответствии безопасности хранилища РАО в настоящее время требованиям действующих нормативных документов в области использования атомной энергии.

Задания и вопросы для самоконтроля

1. Что такое ООБ и каковы его цели?
2. Для каких этапов жизненного цикла объектов ИАЭ разрабатывается ООБ?
3. Приведите примерное содержание ООБ для хранилища ТРО?
4. В чем особенность содержания первой главы ООБ?
5. Определите понятия: авария, проектная авария и запроектная авария.
6. Назовите исходные события, которые могут привести к проектной и запроектной аварии на хранилище РАО.
7. Что такое ПБЭ и УБЭ?
8. Приведите примеры нормальных условий эксплуатации, ПБЭ и УБЭ для хранилища РАО.
9. В чем отличие вывода из эксплуатации хранилища РАО от его закрытия?
10. Что должна содержать глава по оценке долговременной безопасности хранилища?

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ХРАНИЛИЩА РАО

Природные события, явления и факторы:

- Биологическое вмешательство в хранилище РАО животных, растений.
- Разрывные нарушения (сейсмичность).
- Метеорологические факторы.
- Климатические факторы.
- Факторы, обусловленные водным режимом хранилища, в том числе: наводнения, колебания уровня грунтовых вод, потоки грунтовых вод, инфильтрационные воды.
- Эрозия.

Процессы, происходящие в хранилище РАО

- Образование химических соединений, способных снизить изолирующие (задерживающие) свойства барьеров безопасности.
- Газовыделение за счет процессов коррозии металлических отходов и конструкционных материалов, химической деструкции отходов, микробиологического разложения органических отходов, химической деструкции отходов, включая ощелачивание целлюлозы, радиоактивного распада.
- Деградация защитных и прочностных свойств инженерных барьеров безопасности за счет длительных воздействий радиационно-физических факторов.
- Механическое воздействие вышележащих (покрывающих) грунтов на барьеры безопасности.
- Физико-химические (геохимические) взаимодействия РАО со средами ближней зоны хранилища, обуславливающие изменения физико-химических характеристик как отходов, так и грунтов ближней зоны.

Процессы и события, обусловленные деятельностью человека

- Ошибки проектирования, повлекшие за собой нарушения функционирования дренажных систем.
- Ошибки проектирования, повлекшие за собой нарушения в расположении упаковок РАО.
- Ошибки проектирования, повлекшие за собой нарушения покрывающего слоя.
- Строительные работы.
- Сельскохозяйственные работы.
- Использование грунтовых вод.
- Размещение населенных пунктов.
- Непреднамеренное использование радиоактивно загрязненных сред из хранилища РАО в качестве сырья для производства стройматериалов.
- Археологические изыскания.
- Различные виды промышленной деятельности.

**РЕЗУЛЬТАТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ОБРАЩЕНИЯ С РАО
ПРОИЗВОДСТВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**
(извлечение из издания [28])

Функциональная подсистема – источник образования РАО	Подсистемы по видам РАО	Способы обращения с РАО. Принимаемые решения
5. Производство ядерного топлива: Производство таблетированного уранового ядерного топлива Производство таблетированного МОХ-топлива Производство виброуплотненного МОХ-топлива Гексафторид урана UF_6 обогащ $\rightarrow UO_2 \rightarrow$ таблетки (смесь порошков) $\rightarrow$ ТВЭЛ $\rightarrow$ ТВС	5.1. Газообразные отходы, вентиляционные выбросы	5.1.1. Сбор, очистка (выдержка), выброс в атмосферу
	5.2. Твердые радиоактивные отходы (среднеактивные и низкоактивные)	
	5.2.1. Твердые радиоактивные технологические отходы среднеактивные и низкоактивные)	5.2.1.1. Сбор, повторное использование
	5.2.2. Твердые радиоактивные нетехнологические отходы среднеактивные и низкоактивные)	5.2.2.1. Сбор ТРО, хранение (выдержка), переработка, кондиционирование, хранение 5.2.2.2. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 5.2.2.3. Захоронение кондиционированных ТРО
	5.3. Жидкие радиоактивные отходы (среднеактивные и низкоактивные)	
	5.3.1. Жидкие радиоактивные технологические отходы	5.3.1.1. Сбор ЖРО 5.3.1.2. Переработка ЖРО (нейтрализация) 5.3.1.3. Размещение в хвостохранилище 5.3.1.4. Реабилитация площадки хвостохранилища

Функциональная подсистема – источник образования РАО	Подсистемы по видам РАО	Способы обращения с РАО. Принимаемые решения
	5.3.2. Жидкие радиоактивные нетехнологические отходы (воды спецпрачечных и душевых)	5.3.2.1. Сбор ЖРО 5.3.2.2. Переработка ЖРО (нейтрализация) 5.3.2.3. Размещение в хвостохранилище 5.3.2.4. Реабилитация площадки хвостохранилища 5.3.2.5. Радиоактивные жидкие сбросы
	5.4. Отходы вывода объектов из эксплуатации	5.4.1. Сбор ЖРО, очистка, хранение (выдержка), переработка, кондиционирование, хранение
		5.4.2. Сбор ТРО, хранение (выдержка), переработка, кондиционирование, хранение 5.4.3. Захоронение кондиционированных РАО 5.4.4. Реабилитация территории
6. Объекты ядерно-химического комплекса: производство изотопной	6.1. Газообразные отходы, вентиляционные выбросы	6.1.1. Сбор, очистка (выдержка) и выброс в атмосферу
	6.2. Жидкие радиоактивные отходы	

Функциональная подсистема – источник образования РАО	Подсистемы по видам РАО	Способы обращения с РАО. Принимаемые решения
продукции, переработка ОЯТ. Обращение с РАО, накопленными при получении оружейного плутония, конверсии оружейного плутония, переработке ОЯТ, производстве изотопной продукции	6.2.1. Жидкие технологические низкоактивные отходы	6.2.1.1. Сбор, хранение (выдержка), переработка методами упаривания, коагуляции, фильтрации, ионного обмена, селективной сорбции, электродиализа 6.2.1.2. Кондиционирование и хранение 6.2.1.3. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.2.1.4. Захоронение кондиционированных отходов 6.2.1.5. Возврат очищенной воды на повторное использование 6.2.1.6. Радиоактивные жидкие сбросы в промышленные водоемы 6.2.1.7. Хранение в промышленных бассейнах и водоемах 6.2.1.8. Захоронение ЖРО в геологические формации
	6.2.2. Жидкие технологические среднеактивные отходы (дренажно-десорбирующие растворы, дезактивационные растворы, растворы от промывки экстрагента и экстракторов, конденсаты спецгазоочистки, концентраты, пульпы, сорбенты, шламы)	6.2.2.1. Сбор и временное хранение в емкостях 6.2.2.2. Хранение в пульпо-хранилищах 6.2.2.3. Переработка методом упаривания 6.2.2.4. Возврат очищенной воды на повторное использование 6.2.2.5. Кондиционирование и хранение 6.2.2.6. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение 6.2.2.7. Захоронение кондиционированных отходов 6.2.2.8. Радиоактивные жидкие сбросы в промышленные водоемы 6.2.2.9. Хранение в промышленных бассейнах и водоемах 6.2.2.10. Захоронение ЖРО в геологические формации

Функциональная подсистема – источник образования РАО	Подсистемы по видам РАО	Способы обращения с РАО. Принимаемые решения
	6.2.3. Жидкие технологические высокоактивные отходы	
	6.2.3.1. Жидкие высокоактивные растворы от переработки различных типов облученных блоков и твэлов	6.2.3.1.1. Хранение в емкостях 6.2.3.1.2. Фракционирование 6.2.3.1.3. Кондиционирование (остекловывание), хранение 6.2.3.1.4. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.2.3.1.5. Захоронение кондиционированных отходов
	6.2.3.2. Высокоактивные пульпы, гидратные, сульфидные, ферроцианидные осадки	6.2.3.2.1. Сбор и хранение в емкостях 6.2.3.2.2. Кондиционирование (остекловывание), хранение 6.2.3.2.3. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.2.3.2.4. Захоронение кондиционированных отходов
	6.2.3.3. Жидкие нетехнологические низко и среднеактивные отходы (дренажные воды, стоки спецпрачечных и душевых)	6.2.3.3.1. Сбор, переработка, кондиционирование, хранение 6.2.3.3.2. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.2.3.3.3. Захоронение кондиционированных отходов 6.2.3.3.4. Радиоактивные жидкие сбросы в промышленные водоемы 6.2.3.3.5. Хранение в промышленных бассейнах и водоемах
	6.3. Твердые радиоактивные отходы	

Функциональная подсистема – источник образования РАО	Подсистемы по видам РАО	Способы обращения с РАО. Принимаемые решения
	6.3.1. Твердые низко- и среднеактивные отходы	6.3.1.1. Сбор, хранение (выдержка), переработка методом прессования, кондиционирование, хранение 6.3.1.2. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.3.1.3. Захоронение кондиционированных отходов
	6.3.2. Твердые высокоактивные отходы	6.3.2.1. Сбор, хранение (выдержка), переработка методом прессования, кондиционирование, хранение 6.3.2.2. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.3.2.3. Захоронение кондиционированных отходов
	6.4. Отходы вывода объектов из эксплуатации	6.4.1. Сбор ЖРО, очистка, хранение (выдержка), переработка, кондиционирование, хранение 6.4.2. Сбор ТРО, хранение (выдержка), переработка, кондиционирование, хранение 6.4.3. Транспортирование кондиционированных отходов на долговременное хранение (захоронение) 6.4.4. Захоронение кондиционированных РАО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. М., 2008.
2. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ от 21 ноября 1995.
3. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 9 января 1996 г.
4. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, Вена: МАГАТЭ, INFCIRC/546, 1997.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Регулирование ядерной и радиационной безопасности. МГОФ «Знание». М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2003.
6. Госатомнадзору России – 20 лет / Под ред. Б.Г. Гордона. М.: НТЦ ЯРБ, 2003.
7. Концепция Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». (Распоряжение Правительства РФ от 19 апреля 2007 г. № 484-р) и Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (утверждена постановлением Правительства РФ от 13 июня 2007 г. № 444).
8. Лебедев В.М. Ядерный топливный цикл (технологии, безопасность, экономика). М.: Энергоатомиздат, 2005.
9. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов / А.И. Рыбальченко, М.К. Пименов, П.П. Костин и др. М.: ИздАТ, 1994.
10. Кузовлев Г.М. Специальные гидротехнические сооружения на атомных предприятиях. М.: Атомиздат, 1973.
11. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. М.: Энергоатомиздат, 1985.

12. Корнилов А.Н., Рябчиков С.Г. Отходы уранодобывающей промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1992.
13. Шишиц И.Ю. Основы инженерной георадиоэкологии. Учебное пособие. М.: Мир горной книги, 2005.
14. Кочкин Б.Т. Геоэкологический подход к выбору района для захоронения радиоактивных отходов. М.: Наука, 2005.
15. Скачек М.А. Обращение с отработавшим топливом и радиоактивными отходами АЭС. Учебное пособие. М.: Изд. Дом МЭИ, 2007.
16. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций (РД-0348-02). М.: Центр Принт, 2002.
17. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы, СанПиН 2.6.1.2523-09 (утв. постановлением Главного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 № 47).
18. ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности, СП2.6.1.2612-10 (утв. постановлением Главного санитарного врача РФ от 26.04.2010 №40).
19. СПОРО-2002. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами, Минздрав России, 2001 (СП 2.6.6.1168-02).
20. Мухин К.Н. Введение в ядерную физику. М.: Госатомиздат, 1963. 588 с.
21. ГОСТ Р 50996–96. Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения, Госстандарт России. М., 1996.
22. О проекте Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами» / Е.В. Евстратов, А.М. Агапов, С.В. Дьяков и др. // Ядерная и радиационная безопасность России. (Тематический сборник Госкорпорации по атомной энергии «Росатом»). М., 2008. Вып.4. Ч.1. С. 18-27.
23. Classification of Radioactive Waste, GSG-1, Safety Series No. DS 390 IAEA, Vienna.: IAEA, 2010. 34 p.
24. Classification of radioactive waste. Safety Series No 111-G-1.1, IAEA, Vienna.: IAEA, 1994. 52 p.
25. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standard Series No. RS-G-1.7, Vienna.: IAEA, 2004.

26. Жак Ф. Современное состояние проблемы размещения радиоактивных отходов во Франции // Атомная техника за рубежом. 2003. № 11. С. 29-34.

27. МАГАТЭ. Ежегодный доклад, 2009 год. (В соответствии со статьей VI.J Устава Агентства). Доклад охватывает период с 1 января по 31 декабря 2009 г.

28. Шарафутдинов Р.Б. Некоторые аспекты системного подхода к нормативному регулированию безопасности при обращении с радиоактивными отходами // Вестник Госатомнадзора России. 2002. № 1(20). С 19-32.

29. Принципы обращения с радиоактивными отходами. Серия изданий по безопасности, Основы безопасности, МАГАТЭ, Серия изданий по безопасности № 111-F. Вена: МАГАТЭ, 1996.

30. Факторы, влияющие на качество низко- и среднеактивных отвержденных отходов / Т.А. Быховская, К.П. Захарова, О.Л. Масанов и др. // Атомная энергия. 1995. Т.79. Вып.3. С. 197-200.

31. Кондиционирование радиоактивных отходов путем включения в керамические матрицы на основе глины / А.С. Алой, Б.С. Кузнецов, Ю.В. Кузнецов и др. // Атомная энергия. 1995. Т.78. Вып.5. С. 305-311.

32. Электрохимический метод переработки радиоактивных отходов / Б.В. Мартынов, В.В. Смирнов, В.В. Туголуков и др. // Атомная энергия. 1995. Т.78. Вып.1. С 37-41.

33. Крылова Н.В., Полуэктов П.П. Свойства отвержденных высокоактивных отходов как одного из барьеров системы захоронения // Атомная энергия. 1995. Т.78. Вып.2. С. 93-98.

34. РД 95 10497–93 Качество компаундов, образующихся при цементировании жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности. Технические требования. М.: Госстандарт России, 1993.

35. ГОСТ Р 50927–96 Отходы радиоактивные битумированные. Общие технические требования. М.: Госстандарт России, 1996.

36. ГОСТ Р 51824–2001. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. М.: Госстандарт России, 2001.

37. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года. Публикация 60. Ч.1. М.: Энергоатомиздат, 1994.

38. Федеральный закон «Об охране окружающей среды № 7-ФЗ от 10 января 2002 г.

39. НП-063-05. Правила ядерной безопасности для объектов ядерного топливного цикла, Ростехнадзор, 2005.

40. Критические параметры делящихся материалов и ядерная безопасность. Справочник / Л.В. Диев, Б.Г. Рязанов, А.П. Мурашов, В.В. Фролов. М.: Энергоатомиздат, 1984.

41. Внуков В.С., Сичкарук О.В., Чукатели Л.И. Ядерная безопасность при обращении с радиоактивными отходами, содержащими делящиеся материалы // Атомная энергия. Т.88. Вып.5, май 2000. С. 362-370.

42. Чопорняк А.Б., Шарафутдинов Р.Б. Важный шаг на пути к универсальному международному правопорядку безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом // Вестник Госатомнадзора России. 1998. №2. С. 6-13

43. МАГАТЭ. Принципы безопасности и технические критерии для подземного захоронения радиоактивных отходов высокого уровня активности. Серия изданий по безопасности № 99. Вена: МАГАТЭ, 1990.

44. ICRP Publication 81. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. Approved by the Commission in September 1999.

45. Рекомендации МКРЗ 2007 г. Публикация 103 / Пер. с англ., под общей ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандала. М.: изд. ООО ПКФ «Алана», 2009.

46. МАГАТЭ. Оценка безопасности приповерхностных захоронений радиоактивных отходов. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № WS-G-1.1. Вена: МАГАТЭ, 1999.

47. Гуськов А. В., Ткаченко А.В. Оценка безопасности приповерхностных хранилищ // Безопасность окружающей среды. 2006. №3.

48. ISAM NEWSLETTER, The International Atomic Energy Agency Programme on Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Waste Disposal Facilities // ISAM. No. 6. Vienna. Austria. December 2001. 9 p.

49. ASAM – The International Project on Application of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Radioactive Waste Disposal

Facilities: Scope, Objectives, Content and Work Programme. Vienna, Austria, Version 1.0, June 2002. P. 29.

50. Сметник А. А., Мурлис Д. В. Программы МАГАТЭ по совершенствованию и применению методики оценки безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов - ISAM и ASAM // Вестник Госатомнадзора. 2003. №1. С. 68-69.

51. РБ-011-2000. Оценка безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов. Госатомнадзор России, 2000.

52. Семинар по методологии оценки безопасности приповерхностных хранилищ для захоронения радиоактивных отходов. Стокгольм 14-22 сентября 1998 г. (In cooperation with Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. and Kemakta Consultants Co.).

53. Глинка Н.Л. Общая химия. Л.: Химия, 1984.

54. Федоров А.Л., Дорожкин А.И., Сорокин В.Т. Оценка безопасности хранилища с отвержденными радиоактивными отходами, упакованными в бетонные контейнеры // Атомная энергия. Т. 81. Вып.1, июль 1996.

55. Шарафутдинов Р.Б., Ушанова О.Н., Корж В.И. Моделирование диффузии радионуклидов из приповерхностных хранилищ жидких РАО // Ядерная и радиационная безопасность. №1. 2008. С.18-25.

56. Гордон Б.Г., Шарафутдинов Р.Б., Талицкая А.В. Прогнозный расчет миграции радионуклидов с загрязненных участков территории Государственного предприятия «Московский завод полиметаллов» // Ядерная и радиационная безопасность. №2. 2007. С.48-54.

57. Долгосрочный прогноз миграции радионуклидов из хранилища твердых радиоактивных отходов Сибирского химического комбината / Р.Б. Шарафутдинов, А.В. Талицкая, Ю.В. Рунова и др. // Атомная энергия. Т.103. Вып.2, август 2007. С. 134-136.

58. Соколова И.Д., Шульга Н.А. Проект национального хранилища в Юкка-Маунти для захоронения облученного ядерного топлива и высокоактивных отходов в США // Атомная техника за рубежом. 2006. №10. С. 3-12.

59. Макхиджани А., Фьорованти М. Экологическая очистка свалок холодной войны // Энергетика и безопасность. №8. 1999. (Издание IEER).

60. ГОСТ Р 8.563–2009 ГСИ. Методы (методики) измерений. М.: Стандартинформ, 2010.

61. ГОСТ 12.1.048–85. Контроль радиационный при захоронении радиоактивных отходов. М.: Госстандарт, 1985.

62. НП-020–2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование ТРО. Требование безопасности. Госатомнадзор России, 2000.

63. НП-019–2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование ЖРО. Требования безопасности Госатомнадзор России, 2000.

64. ГОСТ Р 50926–96 Отходы высокоактивные отвержденные. Общие технические требования. М.: Госстандарт России, 1996.

65. Двухименный В.А., Столяров Б.М., Черный С.С. Системы очистки воздуха от аэрозольных частиц на АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1987.

66. НП-021–2000. Обращение с газообразными РАО. Требования безопасности. Госатомнадзор России, 2000.

67. Симон Г. Г., Соксич-Костич М. Система мониторинга делящихся материалов в контейнерах с радиоактивными отходами // Атомная техника за рубежом. 2003. №11. С. 22-23.

68. Положение о лицензировании деятельности в области использования атомной энергии (Постановление правительства РФ от 14 июля 1997 г № 865).

69. Государственное регулирование ядерной и радиационной безопасности на территории Российской Федерации. Заявление о политике. (Принято коллегией Госатомнадзора России 31 марта 1992 г.).

70. Постановление и Положение о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Постановление правительства РФ от 30 июля 2004 г. № 401).

71. Федеральный закон «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 1 декабря 2007 г. № 317-ФЗ от 1 декабря 2007 г.

72. Букринский А.М. Апостериорный разбор принятия федерального закона о государственной корпорации «Росатом» // Ядерная и радиационная безопасность. №1. 2008. С. 3-5.

73. Административный регламент исполнения Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзо-

ру государственной функции по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии. Приложение к приказу Министерства природных ресурсов и экологии от 16.10.2008 № 262.

74. Федеральный закон «Об экологической экспертизе» № 174-ФЗ от 23 ноября.

75. РД-03-31–2008. Методические указания по формированию условий действия лицензий на виды деятельности в области использования атомной энергии. Ростехнадзор, 2008.

76. О Правилах принятия решений о размещении и сооружении ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, Постановление Правительства РФ от 14 марта 1997 г. № 306.

77. Концепция формирования структуры системы нормативных документов, регламентирующих обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными отходами / Е.Е. Ковалев, В.Т. Хрущ, С.Г. Чухин и др. // Атомная энергия. 1998. Т.84. Вып.4. С. 369-378.

78. Федеральный закон «О техническом регулировании» №184-ФЗ от 27 декабря 2002 г.

79. Состояние и актуальные проблемы нормативного регулирования безопасности при обращении с радиоактивными отходами / Р.Б. Шарафутдинов, О.Н. Ушанова, А.В. Талицкая и др. // Ядерная и радиационная безопасность. № 4. 2007. С. 14-25.

80. Коновалов В.Ю. Разработка предложений по категоризации объектов «наследия» с позиций окончательной изоляции заключенных в них РАО // Ядерная и радиационная безопасность России. (Тематический сборник Госкорпорации по атомной энергии «Росатом»). М., 2008. Вып.4. Ч.2. С. 62-72.

81. Гупало Т.А., Агапов А.М. Формирование Единой государственной системы обращения с РАО – основа системного решения проблем атомной отрасли. Ядерная и радиационная безопасность России. (Тематический сборник Госкорпорации по атомной энергии «Росатом»). М., 2008. Вып.4. Ч.1. С. 36-49.

82. Новиков Г.Л., Агапов А.М., Михайлов М.В. Об оптимизации использования государственных разрешительных методов регулирования безопасности как условия инновационного развития атомного энергопромышленного комплекса // Ядерная и радиационная безопасность России. (Тематический сборник Госкорпорации по атомной энергии «Росатом»). Вып. 4. Ч. 1. М., 2008. С. 54-82.

83. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения, Ростехнадзор, 2004.

84. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» №52-ФЗ от 30 марта 1999 г.

85. ГОСТ Р 1.0–2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

86. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от № 7-ФЗ от 10 января 2002 г.

87. Федеральный закон «Водный кодекс Российской Федерации» № 73-ФЗ от 3 июня 2006 г.

88. Федеральный закон «О недрах» № 20 – ФЗ от 2 января 2000.

89. Обращение с радиоактивными отходами, образующимися при добыче и переработке руд. Серия по безопасности МАГАТЭ № WS-G-1.2, Вена, 1989.

90. НП-016-05. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла. Ростехнадзор, 2005.

91. НП-055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности. Ростехнадзор, 2004.

92. ГОСТ Р ИСО 9000–2001. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь.

93. ГОСТ Р ИСО 9001–2008. Система менеджмента качества. Требования.

94. РБ-003-98. Требования к программе обеспечения качества при обращении с радиоактивными отходами. Госатомнадзор России, 1998.

95. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация. Изд. "Юрайт", 2009.

96. НП-041-02. Требования к программе обеспечения качества объектов ядерного топливного цикла. Госатомнадзор России, 2002.

97. ФЗ «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26 июля 2008 г. (первая редакция ФЗ вышла в 27 апреля 1993 г, № 4871-1п).

98. ФЗ «О сертификации продукции и услуг» № 5151-1 от 10 июня 1993 г.

99. ФЗ «О стандартизации» № 5154-1 от 10 июня 1993 г.

100. Жокин А.М., Агеев А.А., Карпенко Н.А. Система сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок,

радиационных источников и пунктов хранения, ее структура в переходный период // Вестник Госатомнадзора России. №3. 2000. С.8-18.

101. П-01-01-2009. Перечень нормативных правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере деятельности Ростехнадзора. Раздел II. Государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии. (Приложение к приказу Ростехнадзора от 17 марта 2010 № 178).

102. РБ-023-02. Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных РАО для их хранения и захоронения. Госатомнадзор России, 2002.

103. Обращение с радиоактивными отходами перед их захоронением, включая снятие с эксплуатации. Требования (№ WS-R-2). Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Требования. МАГАТЭ. Вена, 2003.

104. НП-024–2000. Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии. Госатомнадзор, 2000.

105. НП-069-06. Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности. Ростехнадзор, 2006.

106. ГОСТ Р 52037–2003. Могильники приповерхностные для захоронения радиоактивных отходов. Общие требования.

107. СП и ТУ ЭКХ-93. Санитарные правила и технические условия эксплуатации и консервации глубоких хранилищ жидких радиоактивных и химических отходов предприятий ядерно-топливного цикла. Минатом России, 1995.

108. МУ ЭКГХ 2003. Методические указания по эксплуатации и консервации глубоких хранилищ жидких радиоактивных и химических отходов предприятий атомной промышленности. Минатом России, 2003.

109. Правила организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. № 1298 от 11 ноября 1997 г. (последняя редакция утверждена постановлением Правительства РФ от 1 февраля 2005 г № 49).

110. Положение о государственном учете и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации, утвержденное приказом Министра Российской Федерации по атомной энергии от 10.12.1999 г. № 761.

111. НП-067-05. Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации. Ростехнадзор, 2005.

112. НП-072-06. Правила перевода ядерных материалов в категорию радиоактивных отходов. Ростехнадзор, 2006.

113. Брыкин С.Н. Система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО // Безопасность окружающей среды. №4. 2008. С. 14-16.

114. НП-076-06. Установки по иммобилизации трансурановых радиоактивных отходов. Требования безопасности. Ростехнадзор, 2006.

115. НП-030-05. Основные правила учета и контроля ядерных материалов. Ростехнадзор России, 2005.

116. Правила физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов, утверждённые постановлением Правительства РФ № 264 от 7 марта 1997 года с изменениями от 31 июля 1998 г, 8 августа 2003 г и 19 июля 2007 г. №456.

117. НП-034-01. Правила физической защиты радиационных источников, пунктов хранения, радиоактивных веществ. Госатомнадзор России, 2001.

118. НП-083-07. Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов. Ростехнадзор, 2007.

119. НП-073-06. Правила физической защиты радиоактивных веществ и радиационных источников при их транспортировании. Ростехнадзор России, 2006.

120. НП-053-04. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. Ростехнадзор, 2004.

121. ПБТРВ-73. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ. М.: Энергоатомиздат, 1973.

122. ОПБЗ-83. Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке ядерных материалов. М.: Энергоатомиздат, 1983.

123. МАГАТЭ. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов, № ST-1, 1996 (с учетом исправлений № TS-R-1, МАГАТЭ, 2000).

124. РБ-050-09. Состав и содержание отчета по обоснованию безопасности хранилищ твердых радиоактивных отходов. Ростехнадзор, 2009.

125. Исаев А.Н. Обобщенные принципы безопасности // Атомная техника за рубежом. 2007. № 4. С. 3-9.

126. Клец Т. Человеческий фактор // Атомная техника за рубежом. №12. 2001. С. 30-33.

127. НП-047-06. Положением о порядке расследования и учета нарушений в работе объектов ядерного топливного цикла. Ростехнадзор, 2006.

УКАЗАТЕЛЬ СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	– атомная электростанция
ВАО	– высокоактивные отходы
ГРО	– газообразные радиоактивные отходы
ДВС	– допустимые выбросы (сбросы)
ДОА _{нас.}	– допустимая объемная активность для населения
ДОА _{перс.}	– допустимая объемная активность для персонала
ЖРО	– жидкие радиоактивные отходы
МАГАТЭ	– Международное агентство по использованию атомной энергии
МКРЗ	– Международная комиссия по радиологической защите
МЗА	– минимально-значимая активность
МЗУА	– минимально-значимая удельная активность
МТУ	– Межрегиональное территориальное управление
НАО	– низкоактивные отходы
ОСТ	–отраслевой стандарт
ОСУА	– отходы средней удельной активности
ИАЭ	– использование атомной энергии
ООБ	– отчет по обоснованию безопасности
ОЯТ	– отработавшее ядерное топливо
ОЯТЦ	– объект ядерного топливного цикла
ПБЭ	– пределы безопасной эксплуатации
ПГЗ	– полигон глубинного захоронения
ПДК	– предельно допустимая концентрация
ПДП	– предельно допустимое поступление с воздухом
ПЯТЦ	– предприятие ядерного топливного цикла
РАО	– радиоактивные отходы
РБ	– руководства по безопасности
РВ	– радиоактивное вещество
РМ	– радиоактивные материалы
РХП	– радиохимическое производство
РФ	– Российская Федерация
САО	– среднеактивные отходы
СЦР	– самоподдерживающаяся ядерная цепная реакция
ТРО	– твердые радиоактивные отходы

УБЭ	– условия безопасной эксплуатации
УВ	– уровень вмешательства в питьевой воде
УИВ	– устройство индикации вмешательства
ФЗ	– Федеральный закон
ФНП	– Федеральные нормы и правила
ЯМ	– ядерный материал
FER	– события, явления и факторы природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов

Редактор Е.К. Коцарева
Оригинал-макет подготовлен Н.С. Пронкиным

Подписано в печать 15.11.2011. Формат 60х84 1/16
Печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 16,5. Тираж 100 экз.
Изд. № 1/7. Заказ № 61.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409, Москва, Каширское шоссе, 31

ООО «Полиграфический комплекс «Курчатовский».
144000, Московская область, г. Электросталь, ул. Красная, д.42