

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАО ОТ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

И. Л. Абалкина, И. И. Линге

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 2 августа 2018 г.

Статья посвящена вопросам обращения с радиоактивными отходами, образуемыми в ходе деятельности по выводу из эксплуатации. Рассмотрены примеры технических и организационных мероприятий, направленных на оптимизацию потока образуемых отходов. Показана необходимость усиления стимулов к сокращению объемов радиоактивных отходов, подлежащих захоронению. Отмечена проблема отсутствия критериев приемлемости для крупногабаритных отходов и возможностей их захоронения.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, радиоактивные отходы, оптимизация, захоронение радиоактивных отходов.

Целью статьи является рассмотрение технологических и иных возможностей оптимизации образования радиоактивных отходов (РАО) при выводе из эксплуатации (ВЭ) объектов использования атомной энергии. Тематика обращения с РАО от вывода из эксплуатации является одной из наиболее интересных и актуальных тем, главным образом, по причине разнообразия возможных проблемных ситуаций и технологических решений, их разрешающих. При этом тема еще не имеет значимого фундамента в российской практике, поскольку работы по выводу из эксплуатации таких крупных объектов, как энергоблоки АЭС и радиохимические производства, еще впереди. К тому же она обременена устойчивым мифом, что оплата захоронения всех РАО от вывода из эксплуатации вне зависимости от того, насколько эффективны были примененные технологии дезактивации и демонтажа, должна быть возложена на государство (по аналогии с накопленными и находящимся в федеральной собственности РАО). Рассмотрение этого и всех технологических вопросов проведено по отдельным темам без описания их взаимозависимости, хотя она существует и может

дать выраженный синергетический эффект. Отдельно рассмотрены способы стимулирования деятельности по повышению эффективности работ по обращению с РАО — на уровне требований к работам и организационных процедур, в том числе экспертиз и оптимизации проектов. Вопросы развития нормативной базы также детально не рассматриваются, поскольку в достаточно полном объеме представлены в работе [1]. Авторы надеются, что тема получит развитие на страницах журнала в виде статей от непосредственных участников работ.

Ответственность за обращение с РАО от ВЭ

Попытки адресного подхода к РАО от вывода из эксплуатации предпринимались на этапе разработки федерального закона об обращении с РАО. В ранних версиях законопроекта (конец 2008 г.) предусматривалось отнесение к накопленным радиоактивным отходам, которые образуются при ВЭ объектов использования атомной энергии и обращении с отработавшим ядерным топливом в случае, если законодательством не предусмотрено финансирование этой деятельности за счет

средств специального фонда. Казалось, в том числе и одному из авторов, что такой подход будет эффективным. Однако оппоненты справедливо утверждали, что это фактически означало бы неограниченную ответственность государства и отсутствие каких-либо стимулов для хозяйствующих субъектов учитывать фактор РАО при ВЭ.

С позиций уже накопленного опыта формирования ЕГС РАО выскажем мнение, что в итоге был реализован подход, наиболее точный в юридическом плане и наиболее сбалансированный с точки зрения учета интересов различных сторон. РАО от прошлой деятельности объявляются накопленными и закрепляются в федеральной собственности, а любые РАО, образующиеся после принятия закона, в том числе РАО от ВЭ, являются сферой ответственности организации, в результате деятельности которой они образовались (т. е. эксплуатирующей организации).

Требования в области вывода из эксплуатации

Современные требования, закрепленные в международных документах и национальных законодательствах, обусловили доминирование стратегии вывода из эксплуатации по типу ликвидации: объект должен быть безопасно демонтирован и в конце концов после него должна остаться зеленая или коричневая лужайка. Такой подход позиционирует атомную энергетику в качестве экологически приемлемого источника энергогенерации: «выбрали площадку — построили объект — ушли с площадки, оставив ее пригодной для нового использования». Вместе с тем для части, если не для большинства объектов, подлежащих ВЭ в ближайшие десятилетия, такие требования либо технически не достижимы, либо очень дороги, поскольку вопрос ВЭ на этапах проектирования и эксплуатации не рассматривался.

Международные нормы, по нашему убеждению, позволяют подходить к результатам прошлой деятельности с позиции «ситуации существующего облучения» [2, 3]. Напомним, что в сравнении с «ситуацией планируемого облучения» этот режим предлагает широкий дозовый диапазон в 1–20 мЗв/год для определения референтных уровней [2, 3]. Такой подход позволяет гибко подходить к отдельным объектам. Общий смысл в том, чтобы стратегия защиты в ситуации существующего облучения была соразмерна радиационному риску, а результаты принимаемых мер перевешивали ущерб, связанный с их осуществлением [3]. Рассмотрим эту тему в контексте вывода из эксплуатации, отметив, что некоторые авторы считают иначе, распространяя режим планируемой деятельности не только на собственно облучение персонала при ВЭ, но и на конечные состояния площадок после ВЭ и даже на реабилитацию [4].

Принцип оптимизации зафиксирован в документах МКРЗ и МАГАТЭ для всех трех ситуаций облучения. В Объединенной конвенции о

безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (далее — Объединенная конвенция) [5] он реализован в нормах для эксплуатации и для снятия с эксплуатации: принимаемые меры должны обеспечивать поддержание радиационного облучения персонала и населения на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов (ст. 24, 26). Можно ли, основываясь на приведенных нормах, говорить о том, что к существующим установкам могут применяться особые правила вывода из эксплуатации и менее жесткие требования в плане радиационной защиты?

Особые правила — да, в том случае, если это может понадобиться. Так, в документах МАГАТЭ стратегия вывода из эксплуатации «захоронение на месте» остается допустимой для так называемых исторических установок. Этот вариант ВЭ предусмотрен отраслевой Концепцией вывода из эксплуатации [6], федеральными нормами и правилами НП-057-17 и НП-007-17 и уже был использован для ПУТР ЭИ-2 на СХК.

Что касается менее жестких требований, то речь идет о применении принципа оптимизации защиты, а не снижении ее уровня в отношении каких-либо избранных объектов. В чем это выражается? Во-первых, во всех случаях действий с объектами конечный смысл заключается в повышении уровня безопасности. Признание РАО особыми, например, предусматривает последовательный перевод пунктов их размещения и консервации в пункты захоронения. Статус объекта изменяется при достижении им более высокого уровня безопасности в полном соответствии с нормами Объединенной конвенции о существующих установках обращения с РАО, требующими, чтобы «в случае необходимости были выполнены все разумно осуществимые на практике усовершенствования в целях повышения безопасности такой установки» [5].

Во-вторых, ни в одном международном или национальном документе не содержится требований полного удаления конструкций или полного удаления радиоактивности. Напротив, оговаривается, что освобождение площадки из-под регулирующего контроля может быть с ограничениями по ее использованию [7, 8].

В-третьих, для многих объектов наследия требуются технически сложные и дорогостоящие решения, предполагающие нахождение разумного баланса между вложениями и достигаемыми результатами в области радиационной защиты. В этих условиях оптимизация не просто желательна, а необходима.

Организационные условия работ по ВЭ

Объемы образования РАО существенным образом зависят от организационных условий проведения работ. Ограничимся одним компактным

примером — рассмотрением вопросов повышения экономической эффективности деятельности по ВЭ, содержанию объектов и обращению с РАО на одном из круглых столов на прошедшем в мае 2018 года форуме АТОМЭКСПО.

Открывший обсуждение доклад А. А. Абрамова был посвящен прорабатываемым вариантам модернизации системы обращения с наследием в России [9]. Последующие доклады показали, что это общий тренд, начиная с организации деятельности рабочих групп NEA OECD и завершая глобальными аналитическими заключениями крупных международных компаний в сфере управления бизнесом. Кратко первый итог обсуждения можно сформулировать следующим образом: успешный поиск технических решений может быть реализован только в условиях, когда организация ориентирована на вывод из эксплуатации. При этом имеется лишь ограниченный отраслевой опыт выполнения сложных проектов ВЭ (и этот опыт, наряду с другими крупными проектами, отличает рост затрат (в среднем на 50%) и увеличение сроков ведения работ (в среднем на 70%) по сравнению с первоначальными оценками), а вопрос окончательной изоляции РАО по-прежнему открыт в большинстве стран [10].

Второй итог связан с разделением финансовой ответственности между собственниками и государством. Такое разделение представляет длительный, все тщательнее обсчитываемый процесс, в рамках которого могут быть получены судебные решения, обязывающие Правительства к компенсациям за вмешательство в случае сокращения сроков эксплуатации АЭС [11].

Третий итог связан с подтверждением важности системного обращения с РАО при ВЭ. По образному выражению У. Кутчера из NUKEM Technologies, вывод из эксплуатации и окончательное захоронение являются сторонами одной медали, одно невозможно решить без другого [11]. Хранение отходов и наличие объектов для окончательной изоляции называется специалистами Агентства по ядерной энергии ОЭСР в числе наиболее существенных драйверов стоимости ВЭ [12], при ВЭ АЭС, например, затраты на обращение с РАО могут достигать 30% от общих [13].

Основные особенности обращения с РАО от ВЭ

Сформулируем основные особенности потока РАО от ВЭ:

- образование РАО в относительно короткий период работ;
- объемы, многократно превышающие образование РАО в ходе эксплуатации;
- большая доля загрязненного металла и строительных конструкций, в том числе крупногабаритных изделий и загрязненного грунта;
- широкая номенклатура отходов, в том числе по составу и агрегатному состоянию, существенно

отличающаяся от образующихся при эксплуатации ОИАЭ.

Оптимизация может идти как по пути выбора тактики и технологии ведения работ по выводу из эксплуатации, так и способов обращения с образуемыми отходами.

Оптимизация образования РАО при выводе из эксплуатации

Ниже рассмотрен ряд практик, направленных на снижение объемов образования РАО. Все они представлены концептуально.

1 Снижение образования РАО после окончательного останова установки

Представляется возможным существенно сократить объем образования РАО на этом этапе за счет уменьшения регламентных работ, изначально ориентированных на режим активной эксплуатации. Рассмотрим это на примере откачки загрязненных вод с нижних горизонтов зданий и сооружений. Необходимо ли это делать в случае, когда подтопляемое здание (и затопляемые элементы оборудования и инженерных систем) никогда больше не будут использоваться по назначению? Полный отказ от выполнения таких работ не очевиден (нужно смотреть, не происходят ли утечки и загрязнение грунтовых вод), как не очевидно и продолжение откачки с образованием ЖРО в прежнем режиме. При обеспечении процессами деградации элементов или систем, важных для безопасности в режиме окончательного останова, целесообразно рассмотреть доступные альтернативы. Например, тривиальные решения инженерной защиты зданий (создание системы дренажей и др.) могут решить проблему без образования дополнительных РАО или с минимальными их объемами.

2 Выбор тактики демонтажа

Часто долгосрочная тактика строится на удалении в первую очередь слабозагрязненных элементов с расчетом на то, что в узлах и элементах конструкций, содержащих наибольшую активность, она будет снижаться. Да, этот процесс будет происходить, но даже 20–30-летние сроки оказываются недостаточными для того, чтобы эти активности снизились до уровней, позволяющих принципиально упростить технологию демонтажа. Опыт работ по энергоблокам 1 и 2 НВАЭС это в полном объеме продемонстрировал. В противовес этому материалы и конструкции с низкими концентрациями активности после длительной выдержки уже могут и не относиться к РАО. Если говорить о загрязненных конструкциях зданий и сооружений, то развитие технологий дезактивации уже обеспечило конкурентоспособность немедленного демонтажа, в том числе с использованием комбинации различных техник на одном объекте



1a



16

Рис. 1. Захоронение очень низкоактивных радиоактивных отходов во Франции на объекте Centre de Morvilliers [16]

[14]. Накапливается опыт успешного ведения работ в высоких полях, как, например, при демонтаже оборудования реактора МР в Курчатовском институте [15], где применялась линейка дистанционно управляемых машин. Иные доводы, выстраиваемые из соображений безопасности, также свидетельствуют о том, что в первую очередь целесообразен демонтаж наиболее активных элементов и конструкций. К ним отнесем возможность максимального использования остаточного ресурса зданий, сооружений и оборудования при выполнении работ, а также сохранивших работоспособность элементов инфраструктуры.

Итак, имеем два варианта: демонтаж активных элементов в условиях частично сохраненной инфраструктуры с непопаданием большей части материалов с низкими уровнями активности в РАО за счет длительной выдержки или демонтаж этой малоактивной части и затем работы с элементами высокой активности в условиях полностью демонтированной инфраструктуры. Универсального решения, по-видимому, нет, но оба варианта должны детально рассматриваться уже при разработке проекта.

3 Крупные узлы и элементы

Затраты на обращение с РАО и стоимость демонтажных работ могут быть существенно сокращены при демонтаже и захоронении крупных элементов оборудования без их разделки. Такой подход в сочетании с расположением пункта захоронения непосредственно на площадке обусловил относительно небольшую долю затрат на обращение с РАО (8%) в стоимости проекта ВЭ АЭС Ловииса: корпус реактора использован как упаковочная емкость для других РАО, парогенераторы и некоторые другие виды оборудования захораниваются без разделки и без упаковки [13]. Другой пример, пункт захоронения отходов очень низкой активности французской компании «ANDRA». С момента

создания на полигоне осуществлялось захоронение мягких упаковок с РАО (рис. 1a). Некоторое время назад полигон стал принимать крупногабаритные отходы без контейнеров, в том числе в 2013 году было осуществлено захоронение двух парогенераторов (рис. 1б). Для использования данного потенциала снижения затрат необходимы критерии приемлемости для крупногабаритных отходов и соответствующие объекты захоронения [10].

4 Разделка крупных элементов

Если говорить о дезактивации и разделке крупных и неоднородно загрязненных элементов, то не столь важно, какой алгоритм будет применяться — отделение от основного объема узла наиболее активной части или наименее активной. Важно, чтобы процессы постоянно обсчитывались и анализировались. Отдельные российские компании успешно такие приемы применяют [17], в том числе на основе зарубежных технологий. Например, на фото (рис. 2) показано осуществление первичного реза металла глубиной 100 мм, при общей толщине в 120 мм. Результат — нормальные по радиационным



Рис. 2. Удаление загрязненного слоя металлического узла [17]

признакам условия работы и 6-кратное уменьшение образования вторичных РАО.

5 Предварительная очистка несущих конструкций зданий и сооружений

Даже при экстремально высоких исходных уровнях загрязнения можно добиться, чтобы большая часть несущих конструкций была бы освобождена от радиоактивного загрязнения. Это было успешно продемонстрировано в ходе работ по ВЭ корпуса Б АО «ВНИИНМ» (Москва). Дезактивация помещений с локальным загрязнением (например, в помещении 603 уровни β -загрязнения были снижены с 15 000 до 20 част/см²-мин) позволила перевести здание в радиационно безопасное состояние и осуществить его демонтаж [18]. Аналогичная схема работ будет применена и при ВЭ иных корпусов института.

6 Загрязненный металл

Возможна широкая палитра действий в зависимости от уровня и характера загрязнения, а также используемых методов. Технологические решения по дезактивации металлических отходов и их дальнейшему применению для нужд атомной промышленности или для неограниченного использования есть, в том числе в России, и они продолжают развиваться. Перспективным направлением является использование этого металла для изготовления арматуры железобетонных конструкций и контейнеров для РАО. Потребности в невозвратных контейнерах для пунктов захоронения РАО (ПЗРО) 3 и 4 класса оценивается в среднесрочной перспективе в ~100 тыс., потребность в металле составит не менее 100 тыс. т [19]. Для сравнения, АО «ЭКОМЕТ-С» к настоящему времени переработано более 30 тыс. т загрязненного металла [20], EnergySolutions — более 60 тыс. т, Studsvik Nuclear — 32 тыс. т углеродной стали, а также других металлов [21].

7 Сортировка РАО по типам

Достаточно очевидно, что в случае больших объемов материала «на выходе» должны ставиться задачи его характеристики, включая определение методов измерений и применимых критериев освобождения, и сортировки РАО по уровню загрязнения, составу и способам дальнейшего обращения. Сейчас сортировка РАО, как правило, указывается в требованиях по выполнению работ по ВЭ (АО «ВНИИНМ», АО «АЭХК», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИФТ», ФГУП «НИИП»); в случае АО «АЭХК» это прописано максимально подробно по каждому типу демонтируемого оборудования и конструкций. Нужно ли столь подробное описание требований к выполнению работ? Ответ не очевиден — при создании нужных условий организация сама отработает выбор лучшего варианта.

8 Переработка РАО и кондиционирование

Обратим внимание на следующее. Если в результате переработки происходит уменьшение объема РАО, то иногда нужно останавливаться, чтобы не попасть в класс с более высоким тарифом. А в случае резкого увеличения объема, как, например, при цементировании некоторых типов ЖРО, точно так же надо подумать об альтернативных технологиях.

9 Эффективная упаковка

Имея возможность маневра при формировании упаковок с РАО, можно добиться лучшего результата. Для этого должны быть соблюдены два условия. Первое — каждый контейнер подобран специальным образом, то есть без многократного запаса, как это происходит при применении контейнеров НЗК для РАО низких активностей. Второе — контейнер эффективно заполнен, то есть содержание радиоактивности близко к верхней границе класса, а не слегка превышает нижнюю, что также зачастую встречается.

10 Захоронение на месте

В идеале этот вариант вывода из эксплуатации может быть реализован без появления категории удаляемых и покидающих площадку РАО.

11 Обращение с ОНРАО

Очевидная незавершенность правовой конструкции по этой группе РАО является серьезным препятствием для развертывания эффективного захоронения в данном сегменте. Тем не менее, даже если существующие коллизии и не будут разрешены, вполне возможно рассмотрение варианта организации длительного хранения (до распада).

12 Характеризация РАО

Ключевым элементом эффективного управления материалом является характеристика, в том числе до, во время и после демонтажа, равно как и до, во время и после реабилитации. При этом требования к характеристике с целью отнесения к РАО, освобождения или ограниченного использования материалов должны разрабатываться на ранней стадии, в противном случае характеристика, проведенная до начала работ, может оказаться бесполезной [22]. Отметим, что характеристика при ВЭ — это принципиально важный, объемный и весьма отличный от стадии эксплуатации пласт работ, значимость которого с позиций обращения с РАО сейчас недооценивается. Так, для больших объемов материала требуются специальные установки большой производительности. Одна из таких установок для измерения гамма-излучения с разделением изотопов, использовавшаяся NUKEM при ВЭ фабрики по производству ТВЭЛ «NUKEM-A» в г. Хаунау, Германия, показана на рис. 3. Что касается стоимости, то весьма показателен пример Чехии,



Рис. 3. Установка для 100-процентного измерения измельченного кирпича и кладки производительностью 50 т/час

где по экономическим соображениям работы по характеристике материалов, потенциально освобождаемых от контроля, выполняются на АЭС «Дукованы» для обеих АЭС страны [23].

13 Инструментарии оптимизации

Современные технологии предлагают широкий выбор инструментария для оптимизации, начиная с вопросов обоснования безопасности [24] и заканчивая ИТ-системами по сопровождению работ по ВЭ [15]. Некоторые приборы и оборудование дезактивации и демонтажа уже кратко были охарактеризованы. Остановимся на современном расчетно-прогностическом инструментарии, который позволяет планировать и рассчитывать варианты до и во время проведения работ, а также контролировать их выполнение. Во многих случаях он уже ориентирован на задачи вывода из эксплуатации, как, например, программно-аппаратный комплекс Digital Decommissioning [25] или расчетный код TRACT [26]. В совокупности с современными информационными технологиями открывается возможность виртуальной отработки технологий демонтажа [15, 25].

Практика и перспективы установления требований по РАО в проектах ВЭ

Система выработки требований находится в стадии настройки. Кратко опишем некоторые из применяемых требований.

Ограничения на объемы РАО

Такие ограничения в целом целесообразны. Сейчас это делается путем указания максимальных объемов образования РАО (в объеме до «n» м³, в том числе по классам РАО) с учетом или без учета контейнеров для захоронения. В дополнение к этому или отдельно приводятся оценочные объемы работ с РАО определенного

класса, морфологического состава, источника образования, например: ОНАО/НАО/САО, металлические/неметаллические, кирпичная кладка/бетон/плитка/пластикат/грунты, фильтры/трубы/вытяжные шкафы/горячие камеры и др. Требования должны быть достаточно гибкими для исполнителя работ, для этого вносится, например, указание, что фактическое количество РАО и других отходов может отличаться от расчетных значений. Принципиально, чтобы объемы не превышались изначально, а отклонения в меньшую сторону не трактовались заказчиком как невыполнение всего объема работ. Также требования должны оставлять возможность оптимизации по объемам и классам РАО, например, в плане снижения класса опасности отходов («больше НАО — меньше САО», «меньше РАО — больше других отходов» и т. п.).

Освобождение от контроля

В соответствии с НП-091-14 [27] все материалы, образующиеся при выводе из эксплуатации, должны подвергаться радиационному контролю, по результатам которого должно осуществляться отделение РАО от материалов, пригодных для повторного ограниченного или неограниченного использования, и нерадиоактивных отходов. В ряде ТЗ указываются количества материала, выраженные в объемных (м³) или удельных (%) показателях, которые могут быть дезактивированы и освобождены от контроля. Однако обращение с РАО и материалами, не имеющими радиоактивного загрязнения, рассматриваются как отдельные виды работ, а требования в отношении характеристики материала и применяемых методов не оговариваются. Отдельных указаний в отношении материалов ограниченного использования в ТЗ к работам не обнаружено. Требования сортировки установлены только для РАО.

Применительно к освобождению от контроля еще раз подчеркнем необходимость более тщательного планирования и проведения характеристики материала и используемых для этих целей методов, приборов и установок.

Передача РАО

Технические требования в обязательном порядке определяют дальнейшую судьбу образующихся РАО, чаще всего это передача в специализированную организацию для кондиционирования и временного хранения (до 5 лет) или для переработки, кондиционирования и дальнейшей передачи во ФГУП «НО РАО». В ряде случаев РАО передаются на установки переработки и кондиционирования, имеющиеся на площадке организации.

Очевидно, что это требование в ближайшие годы должно получить заверченный вид в форме какой угодно цепочки специализированных подрядчиков, но в итоге передающих РАО на захоронение.

Фрагментация и упаковка РАО

В ряде случаев ТЗ содержат требования упаковки всех РАО в контейнеры на площадке работ, а также фрагментации крупногабаритных РАО до размеров, позволяющих их упаковку в контейнеры. При этом РАО далее передаются на переработку в специализированную организацию. На наш взгляд, такие требования к упаковке могут быть избыточны, например, для ОНРАО, а необходимость фрагментации не всегда очевидна. Необходимы более сфокусированные требования для случаев, когда на площадке работ РАО помещаются в контейнеры непосредственно для захоронения или же упаковываются для передачи на последующую переработку. Примером уточненных требований является указание на упаковку в возвратные контейнеры для передачи в специализированную организацию, однако и в этом случае возникает вопрос целесообразности их использования для грунта или строительных отходов класса ОНРАО в сравнении с одноразовой упаковочной тарой, широко применяемой при строительных работах. На наш взгляд, наиболее корректны формулировки «первичная фрагментация демонтированных конструкций» и «размещение отходов в транспортную технологическую тару» (ТЗ по работам на АО «АЭХК»), оставляющие исполнителю должную степень свободы в выборе габаритов транспортируемых РАО и их упаковок.

Иные возможные требования

Вне зависимости, где будет производиться приведение РАО в соответствие с критериями приемлемости — на площадке или в специализированной организации, важно обеспечить, чтобы упаковки РАО формировались в верхнем диапазоне значений для каждого из классов. В случае крупных партий РАО выигрыш с позиций стоимости захоронения очевиден. При небольших объемах РАО (до нескольких десятков м³) маневр может оказаться технически сложным, но если упаковки формируются на площадке, организация может оптимизировать процесс за счет других источников поступления РАО. У специализированной организации могут возникнуть юридические вопросы при попытке комбинировать РАО, поступившие от различных организаций, которые, на наш взгляд, необходимо научиться преодолевать.

Организационные меры

С учетом будущего масштаба работ по ВЭ, сейчас еще только развертываемых, в качестве обязательного требования целесообразно рассмотреть экспертизу проектов ВЭ на уровне концепции проекта с целью его оптимизации.

Кто должен быть заказчиком оптимизации? Наверное, инициатором такой оптимизации должен быть государственный заказчик работ, если

работы выполняются по ФЦП. В случае, если работы ведутся за счет резервов или иных средств организации, также целесообразна независимая экспертиза, поскольку существующая система управления эксплуатируемыми организациями не дает механизмов гибкой оценки руководителей за такие финансовые показатели, как бюджет содержания после окончательного останова или бюджет вывода из эксплуатации. Это деятельность может стать предметом организационных или малых инвестиционных проектов Госкорпорации «Росатом» по сокращению эксплуатационных затрат после прекращения эксплуатации установки по ее назначению и оптимизации образования РАО при выводе из эксплуатации.

Принципиальной мерой должно стать стимулирование ФГУП «НО РАО» к расширению номенклатуры принимаемых на захоронение РАО, в том числе ОНРАО и крупногабаритных РАО. Пока такие стимулы отсутствуют.

Заключение

Работы по обращению с РАО при выводе из эксплуатации находятся в начальной стадии. Полный цикл работ, включая этап захоронения РАО, станет возможным уже через несколько лет.

Тенденция на минимизацию образования РАО при выводе из эксплуатации — это не просто стремление к экономии средств, а реализация базового принципа минимизации образования отходов, зафиксированного в Объединенной конвенции и российских нормативных документах [5, 22]. Большинство из описанных подходов доступно для применения уже сейчас.

Для полного воплощения принципа минимизации образования РАО при выводе из эксплуатации необходимо реализовать комплекс мер, в первую очередь по развитию нормативно-правовой базы и организации экспертизы проектных работ. Такие меры должны создать работоспособные стимулы для использования всего комплекса эффективных технологических решений по обращению с РАО при выводе из эксплуатации.

При всем разнообразии установок и их числе общий вывод остается одним — объем и сортмент РАО от вывода из эксплуатации критическим образом зависит от технологической оснащенности и компетенций исполнителя. Это означает, что при фиксированной стоимости работ, которая ориентирована, скажем, на уровень компетенций выше среднего, у организации остается выраженный стимул к сокращению объемов РАО. Важно принять меры для того, чтобы эти стимулы не исчезали, а усиливались техническими требованиями к выполнению работ и организационными условиями реализации проектов по ВЭ.

Литература

1. Дорофеев А. А., Линге И. И., Самойлов А. А., Шафутдинов Р. Б. К вопросу финансово-экономического обоснования повышения эффективности нормативной базы ЕГС РАО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 6–15.
2. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. / Под общей ред. М. Ф. Киселёва и Н. К. Шандалы. М.: Изд.ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. No GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014. 436 p.
4. Романович И. К., Стамат И. П., Санжарова Н. И., Панов А. В. Критерии реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности: Часть 1. Выбор показателей для обоснования критериев реабилитации // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9. № 4. С. 6–15.
5. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами от 5 сентября 1997 г. Ратифицирована Российской Федерацией 4 ноября 2005 г.
6. Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения. Утверждена приказом Госкорпорации «Росатом» от 15.07.2014 № 1/645-П.
7. Decommissioning of facilities. General Safety Requirements. No GSR Part 6. Vienna, IAEA, 2014. 23 p.
8. Release of sites from regulatory control on termination of practices. Safety Guide. No WS-G-5.1. Vienna, IAEA, 2006. 37 p.
9. Abramov A. The Concept of Development of Nuclear and Radiation Hazardous Legacy Facilities Management Model. Presentation at the International Forum ATOMEXPO 2018 «Global Partnership — Joint Success». May 14, 2018, Sochi, Russian Federation.
10. Solzhenitsyn S. Overview of world's best practices of decommissioning from the perspective of enhancement of economic efficiency. Presentation at the International Forum ATOMEXPO 2018 «Global Partnership — Joint Success». May 14, 2018, Sochi, Russian Federation.
11. Kutscher U. Decommissioning Challenges and Solutions: The German Phase-out Case Study. Presentation at the International Forum ATOMEXPO 2018 «Global Partnership — Joint Success». May 15, 2018, Sochi, Russian Federation.
12. Cost Estimation for Decommissioning. An International Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements. OECD, NEA, 2010. P. 80.
13. Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants. NEA No. 7201. — OECD, 2016. — 255 p.
14. O'Sullivan, P., Nokhamzon, J. G. and Cantrel, E. (2010). Decontamination and dismantling of radioactive concrete structures. NEA News No. 28.2. <http://www.oecd-nea.org/nea-news/2010/28-2/NEA-News-28-2-8-updates.pdf>.
15. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации. Т. 3. / Под общей редакцией Большова Л. А., Лаврова Н. П., Линге И. И. Москва, 2015. 316 с.
16. Bolia J. ANDRA's disposal facilities. Feedback of 40 year operations in France. — ATOMECO 2013, Moscow. http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/Prezentation_31_10_2013/Bolia.pdf.
17. Мурысёв А. Технологии резки металла и механической дезактивации поверхностей, применяемые для ремонтных работ на объектах атомной промышленности, а также для задач по ВЭ ЯРОО / ООО «ВИП-системы Северо-Запад». — Круглый стол по проблемам ВЭ ЯРОО. Москва, май 2015.
18. <http://www.atomic-energy.ru/photo/57723> (Дата обращения 04.06.2018).
19. Блохин П. А., Ванеев Ю. Е., Панченко С. В. Оценка возможности повторного использования металлических радиоактивных отходов в атомной промышленности // Атомная энергия. Том 117, № 2, 2014. С.81–84.
20. www.ecomet-s.ru (Дата обращения 04.06.2018)
21. Recycling and Reuse of Materials Arising From the Decommissioning of the Nuclear Materials. NEA No 7310. NEA, 2017. 66 p.
22. Radiological Characterization for Decommissioning of Nuclear Installations. NEA/RWM/WPDD (2013) 2. September 2013. 71 p.
23. Кононов В. В., Тихоновский В. Л. Характеризация радиоактивных отходов: задачи и практика // Исследования наукограда. № 1 (3) январь—март 2013. http://neolant.ru/images/161894_1/1.pdf (Дата обращения 05.06.2018).
24. Блохин П. А., Ванеев Ю. Е., Ковальчук В. Д., Крючков Д. В., Мевуис В. В. Программно-технический комплекс обоснования безопасности объектов ядерного наследия // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2016. № 4. с.55–66. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27648354>.
25. Кононов В. В., Тихоновский В. Л., Юшицин К. В., Чуйко Д. В., Журавлев И. И., Блохин П. А., Данейкин Ю. В. Программно-аппаратный комплекс Digital Decommissioning — инновационный подход к выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии / Производственные автоматизированные системы. <http://www.neolant.ru/upload/2017/29.12/1/cononov.pdf>.
26. Блохин А. И., Блохин П. А., Сипачев И. В. Возможности расчетного кода TRACT для решения задач характеристики радионуклидного состава РАО и ОЯТ // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 95–104.
27. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения» НП-091-14. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 мая 2014 г. № 216.

Информация об авторах

Абалкина Ирина Леонидовна, кандидат экономических наук, заведующий лабораторией, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., 52), e-mail: abalkina@ibrae.ac.ru.

Линге Игорь Иннокентьевич, доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., 52), e-mail: linge@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Абалкина И. Л., Линге И. И. Особенности обращения с РАО от вывода из эксплуатации // Радиоактивные отходы. — 2018 — № 3 (4). — С. 6—15.

PECULIARITIES OF DECOMMISSIONING WASTE MANAGEMENT

Abalkina I. L., Linge I. I.

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia

Article received 2 August 2018

The paper addresses the issues of management of radioactive wastes generated by decommissioning activities. Examples of technical and organizational measures for waste stream optimization are presented. It is stressed that there is a need for more effective incentives to reduce radioactive waste volumes subject to disposal. Lack of acceptance criteria for bulky waste and relevant disposal options is revealed as a problem.

Keywords: decommissioning, radioactive waste, optimization, radioactive waste disposal.

References

1. Dorofeev A. N., Linge I. I., Samoylov A. A., Sharafutdinov R. B. Feasibility study on enhancing the efficiency of ussr rw regulatory framework. *Radioactive Waste*, 2017, no 1, pp 22—31.
2. Publikatsiya 103 Mejdunarodnoi Komissii po radiatsionnoi zashite (MKRZ). Per. s angl. /Pod obshchei red. M. F. Kiseleva i N. K. Shandaly. M: Izd. OOO PKF "Alana", 2009. 344 p.
3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. No GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014. 436 p.
4. Romanovich I. K., Stamat I. P., Sanzharova N. I., Panov A. V. Criteria for rehabilitation of facilities and territories contaminated with radionuclides as a result of past activities: Part 1. The choice of indicators for justification of the criteria for rehabilitation. *Radiatsionnaya Gygiena*, 2016, no 9 (4), pp. 6—15.
5. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management from September 5, 1997. Ratified by the Russian Federation November 4, 2005.
6. Kontseptsiya vyvoda iz ekspluatatsii yadernykh ustanovok, radiatsionnyh istochnikov i punktov khraneniya. Utverjdena prikazom Goskorporatzii "Rosatom" ot 15.07.2014 N 1/645-P.
7. Decommissioning of facilities. General Safety Requirements. No GSR Part 6. Vienna, IAEA, 2014. 23 p.
8. Release of sites from regulatory control on termination of practices. Safety Guide. No WS-G-5.1. Vienna, IAEA, 2006. 37 p.
9. Abramov A. *The Concept of Development of Nuclear and Radiation Hazardous Legacy Facilities Management Model*. Presentation at the International Forum ATOMEXPO 2018 «Global Partnership — Joint Success». May 14, 2018, Sochi, Russian Federation.
10. Solzhenitsyn S. *Overview of world's best practices of decommissioning from the perspective of enhancement of economic efficiency*. Presentation at the International Forum ATOMEXPO 2018 «Global Partnership — Joint Success». May 14, 2018, Sochi, Russian Federation.

11. Kutscher U. *Decommissioning Challenges and Solutions: The German Phase-out Case Study*. Presentation at the International Forum ATOMEXPO 2018 «Global Partnership — Joint Success». May 15, 2018, Sochi, Russian Federation.
12. Cost Estimation for Decommissioning. An International Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements. OECD, NEA, 2010. 80 p.
13. Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants. NEA No. 7201. OECD, 2016. 255 p.
14. O'Sullivan, P., Nokhamzon, J. G. and Cantrel, E. (2010). Decontamination and dismantling of radioactive concrete structures. *NEA News*, no. 28.2. <http://www.oecd-nea.org/nea-news/2010/28-2/NEA-News-28-2-8-updates.pdf>.
15. Problemy Yadernogo Naslediya i Puti Ikh Resheniya. Vyvod iz ekspluatatsii. T. 3. Pod obshchei redaktsiej Bol'shova L. A., Laverova N. P., Linge I. I. Moskva, 2015. 316 p.
16. Bolia J. *ANDRA's disposal facilities. Feedback of 40 year operations in France*. ATOMECO 2013, Moscow. http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/Prezentation_31_10_2013/Bolia.pdf.
17. Murysev A. *Tekhnologii rezki metalla i mekhanicheskoi dezaktivatsii poverkhnostei, primenyemye dlya remontnyh rabot na ob'ektakh atomnoi promyshlennosti, a takje dlya zadach po VE YaROO*. OOO "VIP-sistemy Severo-Zapad". Kruglyi stol po problemam VE YaROO. Moskva, mai 2015.
18. <http://www.atomic-energy.ru/photo/57723> (Attendance date 04.06.2018).
19. Blokhin P. A., Vaneev Y. E., Panchenko S. V. Evaluation of the Possibility of Recycling Metal Radwastes in the Nuclear Industry. *Atomic Energy*, 2014, T. 117, no 2, 100—105 p.
20. www.ecomet-s.ru (Attendance date 04.06.2018)
21. Recycling and Reuse of Materials Arising From the Decommissioning of the Nuclear Materials. NEA No 7310. NEA, 2017. 66 p.
22. Radiological Characterization for Decommissioning of Nuclear Installations. NEA/RWM/WPDD (2013) 2, September 2013. 71 p.
23. Kononov V. V., Tikhonovsky V. L. Kharakterizatsiya radioaktivnyh otkhodov: zadachi i praktika. *Issledovaniya naukograda*, no 1 (3) yanvar'—mart 2013. http://neolant.ru/images/161894_1/1.pdf (Attendance date 05.06.2018).
24. Blokhin P. A., Vaneev Yu. E., Kovalchuk V. D., Kryuchkov D. V., Mevius V. V. Programmno-tekhnicheskii kompleks obosnovaniya bezopasnosti ob'ektov yadernogo naslediya. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*, 2016, no 4, p. 55—66. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27648354>.
25. Kononov V. V., Tikhonovsky V. L., Yushitsin K. V., Chuiko D. V., Juravlev I. I., Blokhin P. A., Daneikin Yu. V. Programmno-apparatnyi kompleks Digital Decommissioning — innovatsionnyi podkhod k vyvodu iz ekspluatatsii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi energii. *Proizvodstvennye avtomatizirovannye sistemy*. <http://www.neolant.ru/upload/2017/29.12/1/cononov.pdf>.
26. Blokhin A. I., Blokhin P. A., Sipachev I. V. Capabilities code TRACT to solve problems of characterization radioactive waste and spent fuel. *Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 95—104.
27. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi energii "Obespechenie bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi energii. Obshchie polozeniya" NP-091-14. Utv. prikazom Federal'noi slujby po ekologicheskomy, tekhnologicheskomy i atomnomy nadzory ot 20 maya 2014 g. No 216.

Information about the authors

Abalkina Irina Leonidovna, PhD, Head of Laboratory, Nuclear Safety Institute RAS (52, Bolshaya Tulsкая st., 115191 Moscow), e-mail: abalkina@ibrae.ac.ru.

Linge Igor Innokentevich, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, Nuclear Safety Institute RAS (52, Bolshaya Tulsкая st., 115191 Moscow), e-mail: linge@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Abalkina I. L., Linge I. I. Peculiarities of Decommissioning Waste Management. *Radioactive Waste*, 2018, no 3 (4), pp. 6—15. (In Russian).