

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЯ С РАО ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ МР И РФТ

А. С. Данилович, В. И. Павленко, В. Н. Потапов, С. Г. Семенов, А. В. Чесноков, А. Д. Шиша
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

Статья поступила в редакцию 21 мая 2018 г.

В статье представлены технологии обращения с РАО, образующимися при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов НИЦ «Курчатовский институт». Выбор технологий обоснован их безопасностью, ограниченностью квалифицированного персонала, допустимыми индивидуальными и коллективными годовыми дозами облучения персонала и населения, значениями нормативов для загрязнения объектов окружающей среды, расположением реакторов в густонаселенном районе г. Москвы. Все указанные особенности были учтены в проекте вывода из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ. Обсуждены проблемы безопасности используемых технологий, трудности, возникшие в ходе выполнения работ по проекту. Представлены технологии использования дистанционно управляемых механизмов совместно со средствами дистанционной радиометрии и спектрометрии. Данные технологии были использованы как при демонтаже крупногабаритного оборудования, так и при обращении с высокоактивными отходами. Подведены основные результаты работ и высказаны рекомендации по обеспечению радиационной безопасности при обращении с РАО.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, вывод из эксплуатации, дозы облучения персонала, радиометрия, спектрометрия, дистанционно управляемые механизмы.

Введение

В 2008 г. НИЦ «Курчатовский институт» приступил к выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.». Работы выполнялись согласно проекту вывода из эксплуатации, который в июле 2009 г. получил положительное заключение Госэкспертизы РФ. В проект была заложена логика обращения с радиоактивными отходами (РАО), основанная на результатах комплексного инженерно-радиационного обследования оборудования и помещений, исходных данных о результатах эксплуатации реакторов МР и РФТ и уровнях знаний, технологий и нормативных требований, существовавших на рубеже 20–21-го веков в нашей стране. Низко- и среднеактивные

отходы упаковывали в бетонные и металлические контейнеры для передачи их в пункты длительного хранения. Высокоактивные отходы были упакованы в герметичные пеналы и помещены на выдержку в хранилище высокоактивных отходов Центра. Производство такого большого объема демонтажных и дезактивационных работ при минимальных дозовых нагрузках персонала оказалось возможным только за счет применения средств дистанционной радиометрии и дистанционно управляемых механизмов с применением технологий подавления пыли для уменьшения образования радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений, что позволило значительно уменьшить радиационное воздействие на персонал и окружающую среду.

Обращение с РАО при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов РФТ и МР

Идеология проведения работ по выводу из эксплуатации предполагала следующие принципы:

- выполнение работ ограниченным количеством персонала: отсутствие достаточного числа работников было обусловлено возросшей радиофобией после Чернобыльской аварии, сокращением притока молодых кадров в ядерные технологии ввиду изменения политической ситуации в стране (число работников не превышало 40–45 человек);
- выполнение работ при индивидуальных дозовых нагрузках, ограниченных значением 4 мЗв/год, что определялось требованиями нормативных документов и нормами, установленными внутриинститутскими службами;
- загрязнение объектов окружающей среды, прилегающих территорий Центра и городских районов должно быть меньше нормативов, установленных для населения, даже в случае возникновения аварийных ситуаций;
- образующиеся РАО должны характеризоваться, сепарироваться по удельной активности, кондиционироваться, упаковываться в соответствующие транспортные упаковки и отправляться на длительное хранение за пределы г. Москвы [1, 2].

Указанные выше ограничения требовали, чтобы при разработке проекта применялись технологии, обеспечивающие выполнение всего комплекса работ без присутствия персонала в зоне высоких радиационных полей. Согласно оценкам, заложенным в проект, предполагалось образование твердых радиоактивных отходов (ТРО) в объеме $\sim 1800 \text{ м}^3$, из них в соответствии с классификацией твердых РАО в зависимости от их удельной активности (ОСПОРБ-99): $\sim 1500 \text{ м}^3$ низкоактивных, $\sim 300 \text{ м}^3$ среднеактивных и $\sim 3,5 \text{ м}^3$ высокоактивных отходов. При этом суммарная активность ТРО, образующихся при демонтаже оборудования реакторов и петлевых установок, должна была составить $\sim 1,0 \times 10^{14}$ Бк (~ 2700 Ки). Работы по демонтажу оборудования реакторов МР и РФТ должны были быть проведены в течение ~ 4 лет. Среднегодовые дозовые нагрузки на персонал должны были составить 4 мЗв/год, а коллективная доза не превышать ~ 140 чел·мЗв/год.

Согласно проекту демонтажные работы начинались с периферийных наименее загрязненных вспомогательных помещений, затем демонтировалось оборудование петлевых установок, на заключительной стадии работ удалялось внутрикорпусное оборудование реакторов МР и РФТ, размещенное в помещении реакторного зала, радиационная обстановка в котором характеризовалась наиболее значимыми уровнями мощности эквивалентной дозы (до 0,6 мЗв/ч) [3].

Такая идеология работ требовала применения дистанционных методов диагностики радиационной обстановки и использования дистанционно управляемых механизмов на всех стадиях работ по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов. Опыт работ по ликвидации радиационно опасных объектов на территории НИЦ «Курчатовский институт» показал, что радиометрические и спектрометрические автоматизированные системы радиационного контроля на всех стадиях работ позволяют эффективно идентифицировать, сортировать, кондиционировать и выбирать типы упаковок РАО, а следовательно — снижать их объемы [4].

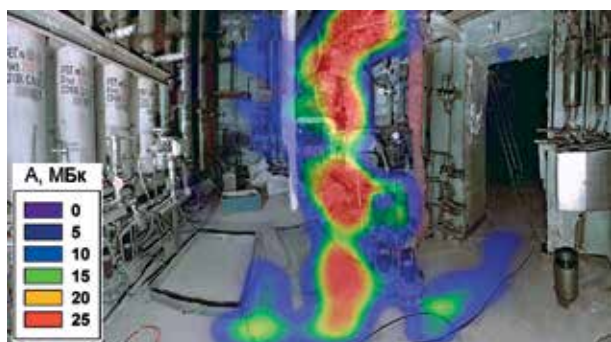
Оборудование петлевых установок реактора МР было расположено в подвальных помещениях, общее число помещений достигало ~ 50 , поэтому на работы в каждом помещении разрабатывался план производства работ (ППР), который включал предварительное радиационное обследование [5].

ППР предполагал предварительное обследование зоны работ с помощью гамма-визора и гамма-локатора, которые сканировали оборудование и поверхности помещения без присутствия персонала в обследуемой зоне и получали гамма-изображение объекта, а также измеряли спектр и поток гамма-квантов в выбранном направлении [5–7]. Результаты измерений обрабатывались с помощью специально разработанных методов и программ представления данных и использовались для получения распределения либо поверхностной, либо удельной активности основных γ -излучающих радионуклидов, загрязняющих оборудование и помещение [8]. Так, на рис. 1 представлены распределения активности ^{60}Co и ^{137}Cs в помещении петлевой установки ПВК.

Полученные результаты использовали для определения последовательности демонтажных работ, характеристики образующихся РАО, их сортировки и определения методов их упаковки и удаления. Результаты измерений допускают моделирование изменения активности в ходе демонтажных и дезактивационных работ (рис. 2). Обычно, имея данные измерений, определяли наиболее загрязненные места и начинали демонтаж оборудования именно с них. Это позволяло снизить мощность эквивалентной дозы (МЭД) в помещении и облегчить доступ персонала в зоны работ.

Технологии обращения с РАО, заложенные в проект

Демонтаж оборудования в помещениях петлевых установок выполняли дистанционно управляемые механизмы Брокк-330. Сначала удаляли наиболее загрязненные части оборудования, а затем последовательно демонтировали, сортировали и упаковывали в контейнеры оставшиеся РАО.

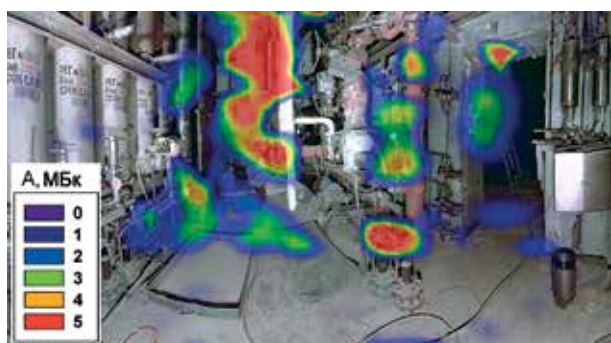


(а) Суммарная активность ^{60}Co : $2,1 \cdot 10^9$ Бк

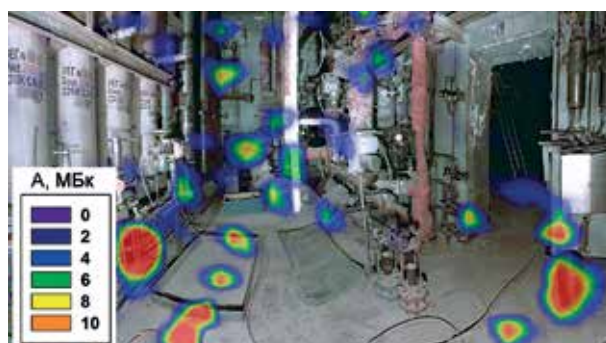


(б) Суммарная активность ^{137}Cs : $5,9 \cdot 10^9$ Бк

Рис. 1. Распределение активности ^{60}Co (а) и ^{137}Cs (б), наложенное на фотоизображение помещения петлевой установки ПВК



(а) Суммарная активность ^{60}Co : $3,7 \cdot 10^8$ Бк



(б) Суммарная активность ^{137}Cs : $2,6 \cdot 10^8$ Бк

Рис. 2. Распределения активности ^{60}Co (а) и ^{137}Cs (б) в результате моделирования удаления наиболее интенсивно излучающих мест

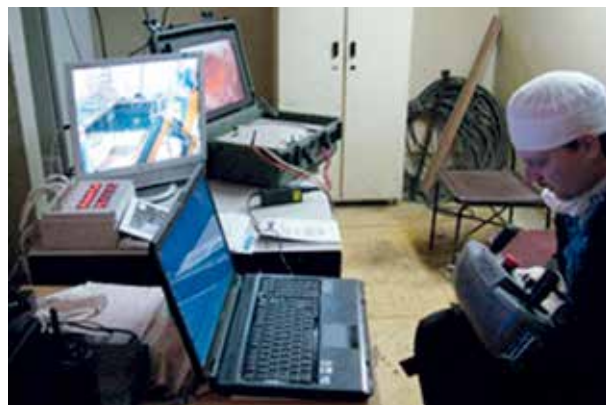


Рис. 3. Расположение дистанционно управляемых механизмов и их операторов при выполнении радиационно опасных работ

На заключительной стадии контейнеры удаляли на специально оборудованное место временного хранения РАО для отправки в ФГУП НПО «Радон». После демонтажа оборудования все поверхности помещения дезактивировали. При этом в зоне высоких радиационных полей находились только исполнительные механизмы, операторы дистанционно управляемых механизмов располагались в местах за радиационной защитой, в зонах существенно меньших мощностей эквивалентных доз (рис. 3).

Для снижения объемной активности аэрозолей в воздухе помещения и зонах расположения персонала, управляющего процессами

измерений и демонтажа, все работы выполняли с применением как локализирующих, так и пылеподавляющих составов. Применение пылеподавления существенно снижало выход радиоактивных аэрозолей в воздух помещений и в окружающую среду. Объемная активность воздуха в зонах расположения персонала не превышала нормативные значения.

Технологии характеристики РАО

В процессе работ по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов стандартно использовались технологии характеристики РАО и

дальнейшей их сепарации по уровням удельной активности. Стандартной процедурой являлись сканирование объектов с помощью гамма-локатора и визуализация загрязнения гамма-визором, измерения спектров γ -излучения демонтируемых конструкций, взятие проб для спектрометрического и радиохимического анализа. Результаты лабораторных исследований позволяли определить радионуклидный вектор отходов. Такая процедура позволяла на основе измерения активности основных γ -излучающих радионуклидов получать оценки активности других радионуклидов, выявленных по результатам лабораторного анализа. В частности, большой объем измерений был выполнен для определения нуклидного состава загрязнения воды бассейна выдержки и бассейна реактора [9].

Для определения удельной активности ^{90}Sr в присутствии таких γ -излучающих радионуклидов, как ^{137}Cs и ^{60}Co , была разработана радиометрическая экспресс-методика, позволяющая выполнять измерения *in-situ* [10].

Помимо проб РАО очень тщательно анализировались фильтры аспирационных установок, контролировавших объемную активность аэрозолей в воздухе рабочих зон. Фильтры подвергались γ -спектрометрическим, β -радиометрическим измерениям, а также радиохимическому анализу с целью определения активности α -излучающих радионуклидов. Такие измерения являются хорошей оценкой радионуклидного вектора радиоактивного загрязнения отходов, так как на фильтрах оседали пылинки с поверхностями демонтируемого оборудования и микрочастицы, возникающие при резке и демонтаже.

Логика сепарации РАО

Как было отмечено выше, в процессе характеристики РАО возникает необходимость их сепарации. Данная необходимость обусловлена отсутствием объемов хранения высокоактивных отходов и отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды, в пунктах долговременного хранения на территории близлежащих областей. Благодаря тесным связям между НИЦ «Курчатовский институт» и ФГУП «Радон», удавалось основную часть РАО отправлять в хранилища ФГУП «Радон». Тем не менее фрагменты высокоактивного оборудования приходилось отставлять в месте временного хранения высокоактивных отходов Центра (хранилище № 7) для выдержки и радиоактивного распада загрязняющих нуклидов. Существенным облегчением процесса работ являлось наличие места временного хранения высокоактивных отходов в непосредственной близости от здания реакторов. Инвентаризация хранилища ВАО была проведена на подготовительной стадии работ по выводу из эксплуатации реакторов МР и

РФТ [11]. Перед началом работ ячейки хранилища были заполнены отходами практически на 100%, требовали сортировки, переупаковки и удаления части из них для освобождения мест хранения для размещения в них высокоактивных отходов, образующихся в процессе демонтажа оборудования реактора МР. Отходы, помещенные в ячейки хранилища, содержались в металлических пеналах, упакованные в специальные защитные контейнеры. Временное хранилище представляет собой заглубленный в землю бетонный монолит, в котором установлены стальные каналы диаметром от 95 до 416 мм (ячейки хранилища) глубиной 4 м. Общее количество ячеек составляет 127 штук. Все они закрыты бетонными пробками. Пункт хранения оборудован защитным сооружением. Стены построены из бетонных блоков толщиной 600 мм, верхнее перекрытие состоит из бетонных плит толщиной 170–200 мм, обеспечивающих биологическую защиту при выполнении работ с высокоактивными пеналами, а также съемной металлической кровли для защиты от атмосферных осадков.

Обследование содержимого ячеек места хранения выполнялось с помощью дистанционно управляемых механизмов и включало извлечение пеналов из ячеек, измерение распределения активности по длине пенала. Дистанционно управляемые механизмы использовались также для упаковки в контейнеры извлеченных из ячеек хранилища низко- и среднеактивных отходов. Оценка суммарной активности пеналов проводилась в предположении ее равномерного распределения по объему упаковки. При проведении измерений с расстояния не менее четырехкратного максимального линейного размера источника неравномерность распределения активности вносит небольшую ошибку в расчеты активности пенала. Зная оценку активности пенала и характеристики контейнеров, можно выбрать тип контейнера так, чтобы соблюдались транспортные нормы по мощности эквивалентной дозы при перевозке РАО.

В результате была выполнена полная характеристика пеналов, находившихся в ячейках пункта. Пеналы были рассортированы на три группы по мощности дозы γ -излучения на расстоянии 1 м от них. В соответствии с полученными данными ячейки были перегружены с целью высвобождения наибольшего количества ячеек для последующей загрузки в них РАО, образовавшихся при демонтаже реакторов МР и РФТ. В результате 40 ячеек хранилища большого диаметра были полностью освобождены, 9 ячеек освобождены наполовину. Часть радиоактивных отходов, образовавшихся при высвобождении ячеек, относилась ко 2-му классу, а отходы, относящиеся к 3-му классу, были загружены в контейнеры КРАД 2.7 и НЗК 150-1.5 и отправлены в ФГУП «Радон». РАО 2-го класса, представляющие

собой элементы реакторного оборудования, в дальнейшем были упакованы и также отправлены на длительное хранение.

Ввиду ограниченности ячеек в месте хранения высокоактивных отходов Центра, особенно тщательные измерения проводились при удалении высокоактивных объектов из бассейна выдержки реактора и демонтаже внутрикорпусных систем реактора МР [11]. Результаты спектрометрических измерений внутрикорпусных конструкций и петлевых каналов из бассейна выдержки показали, что основным γ -излучающим радионуклидом является ^{60}Co , активность ^{137}Cs в 4–10 раз меньше активности ^{60}Co [11, 12]. Данное соотношение активности позволяет надеяться на существенное уменьшение удельной активности после 10–15 лет хранения. Распределение активности по длине петлевых каналов и бериллиевых блоков из активной зоны реактора носило сильно неоднородный характер (рис. 4), что согласуется с распределением нейтронного потока в активной зоне реактора МР. Для идентификации наиболее интенсивно излучающих частей петлевых каналов использовались следующие измерительные средства: комплекс «Гамма-пионер», дистанционно управляемая спектрометрическая система и портативная гамма-камера «Гамма-визор» [6–8].

По результатам измерений определялись наиболее оптимальные места резки для отделения высокоактивных фрагментов от менее активных частей оборудования. Резку петлевых каналов и отделение высокоактивных фрагментов осуществляли по разработанной технологии, исключаяющей разогрев циркониевых оболочек каналов, в соответствии с которой работы выполняли дистанционно под водой робототехническими средствами Брокк-180 и Брокк-330,

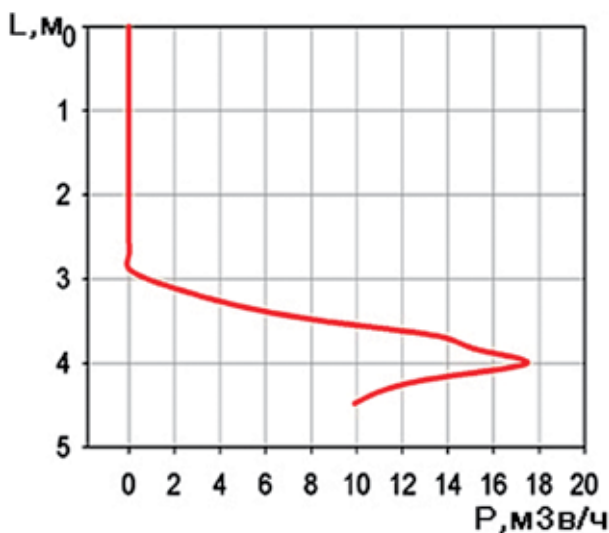
оснащенными необходимым навесным оборудованием. Для этого был создан специальный стенд, заполненный водой и размещенный в реакторном зале. Высокоактивные части каналов помещали в пеналы и отправляли на выдержку в хранилище высокоактивных отходов Центра, а средне- и низкоактивные отходы помещали в контейнеры и отправляли на накопительную площадку для отправки в ФГУП «Радон».

Аналогичным образом были обследованы 216 бериллиевых, графитовых и алюминиевых блоков, извлеченных из активной зоны реактора. В результате:

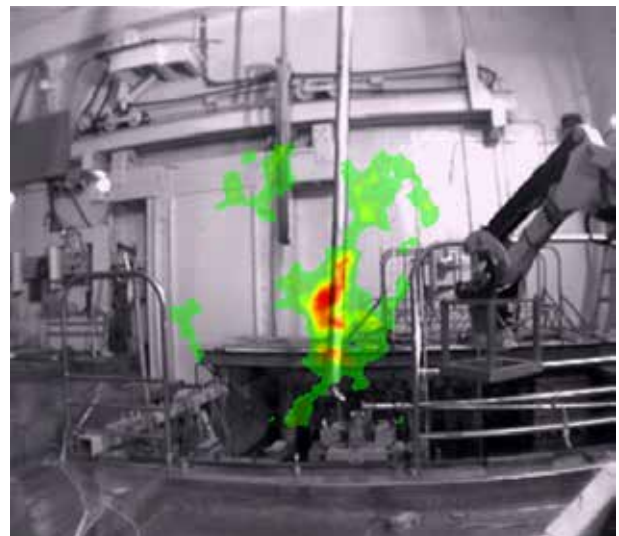
- около 40 из них помещены в пеналы, загружены в ячейки места временного хранения высокоактивных отходов Центра;
- 70 бериллиевых блоков загружены в контейнеры НЗК-150-1.5П с размещением в них дополнительной защиты из низкоактивных отходов в виде засыпки радиоактивного грунта;
- остальные графитовые и алюминиевые блоки относились к низкоактивным отходам и были упакованы в КРАД-3.0.

Некоторые аспекты обращения с РАО

Вывод из эксплуатации реакторов, особенно исследовательских, в которых уровень загрязнения превышает уровни загрязнения энергетических реакторов на всех стадиях работ, связан с обращением с РАО, и проблема РАО является ключевой при проведении работ. Радиационное обследование, демонтаж оборудования, кондиционирование, сортировка, упаковка и отправка на длительное хранение — основные и наиболее затратные в дозовом отношении операции вывода из эксплуатации ядерных установок.



а



б

Рис. 4. а) Распределение мощности эквивалентной дозы вдоль канала, б) гамма-изображение, совмещенное с видимым изображением канала

Объемы РАО, определяемые на стадии комплексного инженерно-радиационного обследования, в основном оцениваются исходя из объемов загрязненного оборудования. Органы госрегулирования не включают в проект другие загрязненные объекты и материалы. Однако в ходе работ, по мере демонтажа оборудования, проявляется загрязнение других объектов, таких как стены и полы помещений, скрытые старые линии спецканализации, скрытые вспомогательные загрязненные трубопроводы. Так, при удалении оборудования петлевых установок МР пришлось столкнуться со скрытыми загрязнениями, закрытыми толстыми бетонными стяжками напольных покрытий. Эти загрязнения остались от системы сбора ЖРО петлевых установок реактора РФТ, которые ранее располагались в этих помещениях. В некоторых случаях глубина проникновения радионуклидов в вещество достигала десятков сантиметров, а уровни загрязнения возрастали по мере удаления покрытий. В качестве примера можно привести помещение № 49 петлевой установки АСТ, представленной на рис. 5.

До вскрытия пола МЭД составляла 10 мкЗв/ч, после удаления бетонного пола и земляной засыпки МЭД достигла 1500 мкЗв/ч. На стадии разработки проекта такая ситуация не могла быть предусмотрена, и объемы РАО, заложенные в проект, оказались существенно ниже реально возникших. Следует обратить внимание, что в случае исследовательских реакторов это довольно стандартная ситуация. В результате работ по



Рис. 5. Трубопроводы старой системы спецканализации в помещении № 49 петлевой установки АСТ

проекту объемы РАО, извлеченные, упакованные и отправленные на длительное хранение, существенно превысили проектные значения.

С точки зрения обеспечения непрерывности работ безусловно полезным явилось наличие на территории Центра места временного хранения высокоактивных отходов и накопительной площадки РАО. Отправка контейнеров с РАО на длительное хранение носит неравномерный, а главное, иногда непредвиденный характер, поэтому наличие готовых к отправке упакованных РАО позволяло оперативно корректировать график логистики. При выводе из эксплуатации энергетических реакторов необходимо создание промежуточных хранилищ РАО непосредственно на территории АЭС ввиду отсутствия региональных пунктов захоронения и для обеспечения логистики отправки при создании необходимых объемов хранения.

Вопросы вторичного использования элементов реакторного оборудования

Другая проблема, которая требует обсуждения, — это проблема вторичного использования РАО. В ходе работ образуется большое количество металлических отходов, относящихся к низкоактивным отходам. Вследствие более низкой стоимости переработки таких РАО, чем РАО длительного хранения, было принято решение отправить эти отходы на переплавку в «Экомет-С». Металлические РАО были сепарированы по уровню удельной активности и погружены в 20-футовые морские контейнеры. Таким образом удалось удалить с территории Центра более 800 тонн радиоактивного металла.

Проблема вторичного использования РАО имеет еще один аспект — вопрос отнесения образующихся при выводе из эксплуатации радиоактивно загрязненных элементов реакторного оборудования к отходам. С этой проблемой пришлось столкнуться в ходе проведения работ. По классификации МАГАТЭ, в законодательстве и регулировании радиоактивные отходы можно определить как материал, который содержит радионуклиды или загрязнен ими в концентрациях или активностях выше уровней допуска, установленных регулирующим органом, и для которых не предусмотрено дальнейшее использование. С точки зрения НИЦ «Курчатовский институт», все оборудование реактора МР является РАО. В ходе работ по выводу из эксплуатации было демонтировано оборудование, находящееся в рабочем состоянии, которое является уникальным, не производящимся в настоящее время нигде, и потребность в котором существенна для отдельных предприятий ядерного комплекса РФ. В частности, были демонтированы главные циркуляционные насосы, которые до сих пор эксплуатируются на исследовательских реакторах России. Попытка отправить насос в

Таблица 1. Дозы внешнего облучения персонала за годы работы по выводу из эксплуатации

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Средняя индивидуальная, эквивалентная доза, мЗв/год	1,5	1,5	2,0	1,9	2,7	3,5	3,6	3,7	3,8	3,6
Годовая коллективная доза, чел.·мЗв/год	84	84	76	65	97	123	129	134	136	126
Количество персонала, чел.	56	56	38	34	36	35	36	36	36	35

НИИАР натолкнулась на огромные финансово-юридические препятствия. С одной стороны, насос — это радиоактивно загрязненное оборудование, а с другой в НИИАРе он будет установлен в качестве реакторного оборудования, и его загрязнение не будет играть никакой роли при работе в составе исследовательского реактора ВК-50.

К сожалению, процедура передачи загрязненного оборудования не прописана в законодательстве. С точки зрения НИЦ «Курчатовский институт», в соответствии с определением МАГАТЭ, циркуляционный насос — радиоактивные отходы, а для НИИАР — ценнейшее оборудование. Для того чтобы отправить несколько тонн отходов на длительное хранение, необходимо заплатить несколько сотен тысяч рублей, поэтому Центр заинтересован в безвозмездной передаче этого оборудования. В свою очередь, и НИИАР заинтересован в безвозмездном получении этого оборудования, но это — нарушение антикоррупционного законодательства, несмотря на заинтересованность всего общества в целом в рациональном разрешении данной ситуации. Такие ситуации должны быть прописаны в законодательстве, чтобы руководители заинтересованных организаций не оказались вне правового поля. При выводе энергетических реакторов такие ситуации будут возникать все чаще из-за унификации оборудования атомных станций.

Отмеченные проблемы — это небольшой пласт проблем, которые возникают при выводе из эксплуатации и которые должны решаться последовательно в рамках следующих этапов работ по реабилитации и ликвидации радиационного наследия предыдущих периодов развития ядерных технологий.

В данный момент для работ по выводу из эксплуатации требуется создание региональных пунктов захоронения РАО (ПЗРО). Без решения этой проблемы и обеспечения достаточных объемов захоронения нельзя приступать к выводу энергетических реакторов, так как в результате этих работ возникает огромное количество РАО различных классов.

Облучение персонала и воздействие на окружающую среду при обращении с РАО

Организация работ по выводу из эксплуатации, применение дистанционных методов диагностики радиационной обстановки, дистанционно управляемых механизмов, систем пылеподавления, постоянный радиационный контроль

способствовали снижению радиационного воздействия на персонал и окружающую среду. У каждого работника ежедневно фиксировалась доза внешнего γ -излучения. Несмотря на сложную радиационную обстановку в большинстве технологических помещений и большой объем работ, демонтаж систем реактора МР и его петлевых установок, а также графитовой кладки реактора РФТ удалось выполнить с соблюдением всех дозовых нормативов для персонала и ограниченным числом сотрудников. Данные по дозам внешнего облучения персонала за годы работ приведены в табл. 1.

В зонах работ и расположения персонала контролировалась объемная активность аэрозолей в воздухе. Персонал ежегодно обследовался на установке СИЧ в специализированной организации. Объемная активность воздуха в зонах нахождения персонала не превышала нормативные значения, максимальная годовая индивидуальная доза внутреннего облучения персонала по данным СИЧ (γ -излучающие радионуклиды) не превысила 50 мкЗв/год. За время работ по выводу из эксплуатации на периметре НИЦ «Курчатовский институт» не было зафиксировано ни одного случая превышения контрольных уровней.

Заключение

Работы по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» выявили ряд проблем при обращении с РАО. Прежде всего, объемы кондиционированных РАО оказались больше запроектированных. В результате работ с территории Центра удалено более 1900 т ТРО, около 700 м³ ЖРО, активность удаленных РАО достигла 113 ТБк, причем ~ 80 ТБк — активность около 170 каналов петлевых установок и ~ 300 бериллиевых и графитовых блоков из бассейна выдержки и активной зоны реактора. Заметная доля каналов и блоков упакована в пеналы и оставлена на выдержку в пункте временного хранения на территории Центра. Основными радионуклидами являются ⁶⁰Со и ¹³⁷Сs, что позволяет надеяться на уменьшение их активности и удаление в ФГУП «Радон» после нескольких лет выдержки. Работы по дезактивации помещений реактора МР продолжаются в настоящее время, в рамках этих работ ежегодно с территории Центра удаляется до 200 м³ РАО. Ввиду большого объема извлекаемого радиоактивного грунта принято решение полного демонтажа здания реактора.

Логика обращения с РАО и использованные технологии нацелены на выполнение работ ограниченным числом квалифицированных работников с индивидуальными дозовыми нагрузками, не превышающими 20% от индивидуальных годовых доз для персонала группы А как по внешнему, так и по внутреннему облучению. Применение строгих мер и дополнительных средств радиационного контроля, использование дистанционных методов радиационного обследования и дистанционно управляемых механизмов для производства работ позволило выполнить работы по ликвидации исследовательских реакторов МР и РФТ в полном соответствии с проектными решениями. Данные решения могут лечь в основу разработки проектов вывода других ядерно и радиационно опасных объектов. Результаты работ, особенно использование промежуточных пунктов хранения РАО, необходимо проанализировать с точки зрения использования в работах по выводу из эксплуатации энергетических реакторов и других промышленных ядерных объектов.

Литература

1. Волков В. Г., Зверков Ю. А., Колядин В. И. и др. Оптимизация системы радиационной защиты персонала при проведении работ по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» // АНРИ. 2013. Вып. 1 (72). С. 48–52.
2. Велихов Е. П., Пономарев-Степной Н. Н., Волков В. Г. и др. Реабилитация радиоактивно загрязненных объектов и территорий РНЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2007. Т. 102. Вып. 5. С. 300–306.
3. Волков В. Г., Зверков Ю. А., Колядин В. И. и др. Подготовка к выводу из эксплуатации исследовательского реактора МР в РНЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2008. Т. 104. Вып. 5. С. 259–264.
4. Волков В. Г., Зверков Ю. А., Иванов О. П. и др. Ликвидация труднодоступного хранилища высокоактивных отходов РНЦ «Курчатовский институт» // Атомная энергия. 2008. Т. 105. Вып. 3. С. 164–169.
5. Степанов В. Е., Потанов В. Н., Смирнов С. В., Данилович А. С. Радиационное обследование помещений реактора МР с использованием дистанционно управляемой сканирующей системой // Атомная энергия. 2012. Т. 113. Вып. 2. С. 101–105.
6. Danilovich A. S., Ivanov O. P., Potapov V. N. et al. New remote method for estimation of contamination levels of reactor equipment // In Proc. of Intern. WM'13 Symposium, Phoenix, AZ, USA, 2013, 13175, CD-ROM, ISBN 978-0-9036186-2-1.
7. Volkovich A. G., Danilovich A. S., Ivanov O. P. et al. Radiological survey of contaminated installations of research reactor before dismantling in high radiation conditions with complex for remote measurements of radioactivity // Proc. of WM'12 Symposium, Phoenix, USA, 12069.
8. Volkov V. G., Gerasov A. V., Zverkov Yu. A. et al. Use of specialized measuring system for radiation situation monitoring at MR research reactor in NRC «Kurchatov institute» // Book of Abstract of European Research Reactors Conference IGORR. Prague, Czech Republic, 18–22 March 2012. Pp. 78–79. URL: <http://www.euronuclear.org/meetings/trfm2012/transactions.html>
9. Степанов А. В., Смирнский Ю. Н., Семин И. А., Волкович А. Г. Комплексное радиометрическое исследование воды бассейнов реактора МР // Атомная энергия. 2014. Т. 117. Вып. 1. С. 45–48.
10. Chesnokov A. V., Ignatov S. M., Liksonov V. I. et al. Method for Measure a Sr-90 Soil Specific Activity In-situ // Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A. 2000, 443, no. 1, pp. 197–200.
11. Волков В. Г., Зверков Ю. А., Иванов О. П. и др. Методы обращения с высокоактивными отходами при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ. // Атомная энергия. 2013. Т. 115. Вып. 5. С. 271–275.
12. Danilovich A., Ivanov O., Potapov V. et al. The simulation of decontamination works in premises of the research reactor in NRC «Kurchatov Institute» // Proc. 15th Intern. Conf. on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ISEM2013. September 8–12, 2013, Brussels, Belgium ISEM2013-96022.

Информация об авторах

Данилович Алексей Сергеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д.1), e-mail: Danilovich_AS@nrcki.ru.

Павленко Виталий Иванович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д.1), e-mail: Pavlenko_VI@nrcki.ru.

Потапов Виктор Николаевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д.1), e-mail: Potapov_VN@nrcki.ru.

Семенов Сергей Геннадиевич, кандидат технических наук, начальник управления, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д.1), e-mail: Semenov_SG@nrcki.ru.

Чесноков Александр Владимирович, доктор технических наук, ученый секретарь, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д.1), e-mail: Chesnokov_AV@nrcki.ru.

Шиша Анатолий Дмитриевич, заместитель начальника – главный инженер управления, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д.1), e-mail: Shisha_AD@nrcki.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Данилович А. С., Павленко В. И., Потанов В. Н., Семенов С. Г., Чесноков А. В., Шиша А. Д. Технологии обращения с РАО при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 2(3). — С. 63—72.

TECHNOLOGIES OF RADWASTE MANAGEMENT AT A DECOMMISSIONING OF THE MR AND RFT RESEARCH REACTORS

Danilovich A. S., Pavlenko V. I., Potapov V. N., Semenov S. G., Chesnokov A. V., Shisha A. D.

National research center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

Article received 21 May 2018

In article, the technologies of radwaste management arising in a decommissioning of research reactors of National Research Center Kurchatov Institute are provided. The choice of technologies is justified by their safety, limitation of qualified personnel, admissible personal and collective annual doses of radiation of a staff and the population, values of standards for contamination of the environment, surrounding of the reactors in the densely populated region of Moscow. All specified features were considered in the project of decommissioning of the MR and RFT research reactors. Safety of the used technologies, the difficulties, which arose in the course of work on the project, are discussed. Technologies of use of remotely controlled mechanisms jointly with means of remote radiometry and spectrometry are provided. These technologies were used as at the dismantling the large-size equipment, so and at management of high level radwaste. The main results of operations are summed up and recommendations about radiation safety in case of the radwaste management are stated.

Keywords: radioactive waste, decommissioning, doses of radiation of personnel, radiometry, spectrometry, remotely controlled mechanisms.

References

1. Volkov V. G., Zverkov Yu. A., Kolyadin V. I. i dr. Optimizatsiya sistemy radiacionnoj zashchity personala pri provedenii rabot po vyvodu iz ehkspluatatsii issledovatel'skih reaktorov MR i RFT v NIC «Kurchatovskij institut» // ANRI. 2013. Vyp. 1 (72). S. 48—52.
2. Velihov E. P., Ponomarev-Stepnoj N. N., Volkov V. G. i dr. Reabilitatsiya radioaktivno zagryaznennykh ob'ektov i territorij RNC «Kurchatovskij institut» // Atomnaya ehnergiya. 2007. T. 102. Vyp. 5. S. 300—306.
3. Volkov V. G., Zverkov YU. A., Kolyadin V. I. i dr. Podgotovka k vyvodu iz ehkspluatatsii issledovatel'skogo reaktora MR v RNC «Kurchatovskij institut» // Atomnaya ehnergiya. 2008. T. 104. Vyp. 5. S. 259—264.
4. Volkov V. G., Zverkov Yu. A., Ivanov O. P. i dr. Likvidatsiya trudnodostupnogo hranilishcha vysokoaktivnykh othodov RNC «Kurchatovskij institut» // Atomnaya ehnergiya. 2008. T. 105. Vyp. 3. S. 164—169.
5. Stepanov V. E., Potapov V. N., Smirnov S. V., Danilovich A. S. Radiacionnoe obsledovanie pomeshchenij reaktora MR s ispol'zovaniem distantsionno upravlyaemoj skaniruyushchej sistemoy // Atomnaya ehnergiya. 2012. T. 113. Vyp. 2. S. 101—105.
6. Danilovich A. S., Ivanov O. P., Potapov V. N. et al. New remote method for estimation of contamination levels of reactor equipment // In Proc. of Intern. WM'13 Symposium, Phoenix, AZ, USA, 2013, 13175, CD-ROM, ISBN 978-0-9036186-2-1.
7. Volkovich A. G., Danilovich A. S., Ivanov O. P. et al. Radiological survey of contaminated installations of research reactor before dismantling in high radiation conditions with complex for remote measurements of radioactivity // Proc. of WM'12 Symposium, Phoenix, USA, 12069.
8. Volkov V. G., Gerasov A. V., Zverkov Yu. A., et al. Use of specialized measuring system for radiation situation monitoring at MR research reactor in NRC «Kurchatov institute» // Book of Abstract of European Research Reactors Conference IGORR. Prague, Czech Republic, 18-22 March 2012. Pp. 78—79. <http://www.euronuclear.org/meetings/rrfm2012/transactions.html>
9. Stepanov A. V., Simirskij Yu. N., Semin I. A., Volkovich A. G. Kompleksnoe radiometricheskoe issledovanie vody bassejnov reaktora MR // Atomnaya ehnergiya. 2014. T. 117. Vyp. 1. S. 45—48.

10. Chesnokov A. V., Ignatov S. M., Liksonov V. I. et al. Method for Measure a Sr-90 Soil Specific Activity In-situ // Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A. 2000, 443, No 1, pp. 197–200.
11. Volkov V. G., Zverkov Yu. A., Ivanov O. P. i dr. Metody obrashcheniya s vysokoaktivnymi othodami pri vyvode iz ehkspluatacii issledovatel'skih reaktorov MR i RFT. // Atomnaya ehnergiya. 2013. T. 115. Vyp. 5. S. 271–275.
12. Danilovich A., Ivanov O., Potapov V. et al. The simulation of decontamination works in premises of the research reactor in NRC “Kurchatov Institute” // Proc. 15th Intern. Conf. on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM2013. September 8–12, 2013, Brussels, Belgium ICEM2013-96022.

Information about the authors

Danilovich Alexey Sergeevich, PhD, Senior researcher, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 1123182, Russia), e-mail: Danilovich_AS@nrcki.ru.

Pavlenko Vitaly Ivanovich, Doctor of Technical Sciens, Leading researcher, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 1123182, Russia), e-mail: Pavlenko_VI@nrcki.ru.

Potapov Victor Nikolaevich, leading researcher, Doctor of physical and mathematical Sciences, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 1123182, Russia), e-mail: Potapov_VN@nrcki.ru.

Semenov Sergey Gennadievich, PhD, Head of Department, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 1123182, Russia), e-mail: Semenov_SG@nrcki.ru.

Chesnokov Alexander Vladimirovich, Doctor of technical Sciences, Scientific Secretary, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 1123182, Russia), e-mail: Chesnokov_AV@nrcki.ru.

Shisha Anatoly Dmitrievich, Deputy chief - chief engineer of the Department, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 1123182, Russia), e-mail: Shisha_AD@nrcki.ru.

Bibliographic description

Danilovich A. S., Pavlenko V. I., Potapov V. N., Semenov S. G., Chesnokov A. V., Shisha A. D. Technologies of radwaste management at a decommissioning of the MR and RFT research reactors. *Radioactive Waste*, 2018, no 2(3), pp. 63 – 72 (In Russian).