DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-102-109 УДК 621.039

ОБСЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖИМОГО ЯЧЕЕК ХРАНИЛИЩА ВЫСОКО- И СРЕДНЕАКТИВНЫХ ОТХОДОВ РЕАКТОРА МР

А. Г. Волкович, А. В. Лемус, О. П. Иванов, В. И. Павленко, Л. А. Рязанова, С. Г. Семенов, Е. А. Степанов, А. В. Чесноков

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2022 г.

В статье представлены результаты обследования хранилища высоко- и среднеактивных отходов, созданного в период эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» (далее — Центр). Выбор технологий его проведения обоснован требованиями обеспечения безопасности персонала при работе с источниками ионизирующего излучения, допустимыми индивидуальными и коллективными годовыми дозами облучения, значениями нормативов для загрязнения объектов окружающей среды. В результате работ все пеналы с радиоактивными отходами (РАО), размещенные в ячейках хранилища, паспортизованы и подготовлены к удалению с территории Центра. Полученные данные будут положены в основу разработки проектов по ликвидации данного хранилища.

Ключевые слова: *радиоактивные отходы, радионуклиды, удельная активность, радиометрия, спектрометрия, дистанционно управляемые механизмы, гамма-изображения.*

Введение

Работы по выводу из эксплуатации реакторов МР и РФТ выполняются в НИЦ «Курчатовский институт» в течение ряда лет. К настоящему времени демонтировано оборудование и активная зона реактора МР, аппаратура его экспериментальных петлевых установок [1], [2], удалена графитовая кладка реактора РФТ [2], [3]. В 2016—2021 гг. были ликвидированы системы спецканализации в технологических помещениях, демонтированы строительные конструкции реакторного зала и самого здания реактора МР. Выполнение этих работ позволило перейти к демонтажу его вспомогательных систем, расположенных в соседних зданиях. В рамках следующего этапа работ предполагается удаление радиоактивных отходов из хранилища высоко- (ВАО) и среднеактивных (САО) отходов реактора МР с целью последующей его ликвидации.

Хранилище высоко- и среднеактивных отходов реактора МР

Данное хранилище предназначено для временного размещения ВАО и САО, с целью их окончательной подготовки к удалению с территории Центра, и расположено в непосредственной близости от здания реактора на специальной площадке.

Оно состоит из надземной (здание) и подземной (хранилище) частей. Здание хранилища — бескаркасное с несущими наружными стенами, однопролетное, одноэтажное, было построено

в 2005—2006 годах над заглубленным в землю бетонным монолитом, в котором установлены стальные каналы (ячейки) глубиной 4 м в количестве 127 штук: в том числе диаметром 95 мм (16 ячеек), 190 мм (24 ячейки), 329 мм (12 ячеек), 364 мм (12 ячеек), 416 мм (63 ячейки). Ячейки хранилища закрываются бетонными пробками. Общий вид здания представлен на рис. 1. Схема расположения ячеек хранилища приведена на рис. 2.

Рис. 1. Общий вид хранилища ВАО и САО

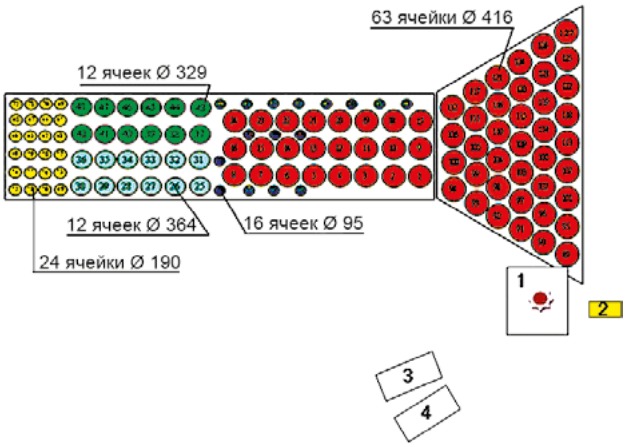

Рис. 2. Схема распределения ячеек и проведения измерений в хранилище ВАО и САО:
1 — площадка обследований с установленным для измерений пеналом; 2 — дозиметр; 3 — коллимированный спектрометрический гамма-локатор; 4 — портативная гамма-камера «Картогам»

Стены хранилища сложены из бетонных блоков толщиной 600 мм. Верхнее перекрытие выполнено из бетонных плит толщиной 170—200 мм, обеспечивающих биологическую защиту при выполнении работ с высокоактивными пеналами. Хранилище оснащено съемной металлической кровлей от атмосферных осадков. Основание внутренней площадки хранилища выполнено из металлического профнастила на металлической раме. Внутренние размеры защитного сооружения — 14 095 × 13 500 × 4 015 мм.

В сооружении смонтирована кран-балка с электроталью грузоподъемностью 1 т, обеспечивающая проведение работ на всех ячейках хранилища. Въезд в него выполнен в виде распашных металлических ворот с дверью.

В хранилище размещались отходы, образовавшиеся в процессе эксплуатации исследовательского реактора МР и при выводе его из эксплуатации. Они упаковывались в металлические пеналы, которые доставлялись в специальных защитных контейнерах, предназначенных для транспортирования ВАО и САО, и размещались в ячейках хранилища. В связи с тем, что информация о содержимом пеналов сохранилась не в полном объеме, было проведено их обследование. Работы проводились в 2021—2022 гг.: в 2021 г. были обследованы ячейки диаметром 416 мм, в 2022 г. — диаметром 364, 329 и 190 мм.

Оборудование, используемое при осмотре пеналов

Для контроля за радиационной обстановкой в помещении хранилища в ходе выполнения обследования использовались стандартные приборы для дозиметрических и радиационных измерений: дозиметр-радиометр ДКС–96М с гамма-детектором БДМГ–96 на удлинительной штанге; дозиметр ДРГ–01Т; переносной дозиметр-радиометр МКС с альфа- и бета-детектором; дозиметр-радиометр УИМ2–2Д с гамма-датчиком на кабеле; индивидуальные прямопоказывающие дозиметры.

Контроль за объемной активностью аэрозолей осуществлялся устройством УДА-1АБ, а установка ПВП–04 использовалась для отбора проб воздуха. Для удаления и получения образцов воды из ячеек было задействовано насосное оборудование, жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) помещались в двухсотлитровые бочки, размещенные на поддоне, которые удалялись из помещения хранилища после заполнения. Для осаждения аэрозолей в ходе извлечения пеналов из ячеек применялась установка ВАГНЕР, снабженная емкостью с пылеподавляющими составами. Визуальный контроль за операцией проводили с помощью стационарных видеокамер, мониторы которых были установлены в помещении операторской радиометрического и спектрометрического оборудования. С южной стороны здания из плит толщиной 180 мм был устроен лабиринт, где была оборудована операторская (рис. 3).

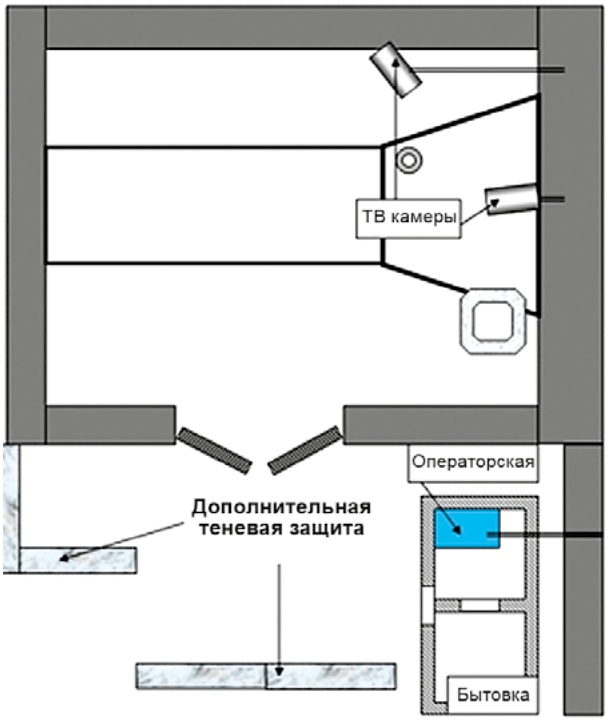

Рис. 3. Схема размещения теневой защиты и операторской измерительного оборудования

Все расстояния и габариты определялись лазерным дальномером, а вес пеналов — динамометром с диапазоном измерений 2 т.

Для спектрометрических исследований использовалась система типа «Гамма-пионер» [4], а портативная гамма-камера «Картогам» применялась для получения гамма-изображений пеналов с целью сбора информации о распределении активности по длине пенала. Пульты управления и мониторы радиометрических систем также были расположены в операторской, что существенно снижало суммарные дозы облучения персонала.

Расположение радиометрических систем относительно обследуемого пенала представлено на рис. 4.

Рис. 4. Размещение радиометрического оборудования при измерениях пеналов с ВАО и САО

Последовательность операций и технология проведения обследования

Последовательность проведения работ включала следующие стандартные операции:

- перед началом работы включались приборы контроля радиационной обстановки;
- затем удаляли пробку ячейки и фотографировали ее содержимое;
- пылесосом ВОРТЕКС (со штангой длиной не менее 1 м) очищали верхнюю крышку пенала;
- на крышку несмываемым маркером наносили номер пенала и оформляли на него паспорт с указанием номеров пенала, ячейки, а также радиационных характеристик и веса;
- электроталью с грузозахватным приспособлением извлекали, а динамометром грузоподъемностью до 2 т, установленным на гике, измеряли вес пеналов. Контроль за зацеплением пенала осуществляли с помощью мобильной телекамеры или зеркала. Подсветка в ячейке производилась с помощью дополнительного переносного светильника;
- «Гамма-пионер» и гамма-визор устанавливали на расстоянии 4,5 м от пенала. При необходимости сканирования гамма-излучения по длине пенала детектирующее устройство «Гамма-пионер» устанавливали на дистанционно управляемое робототехническое средство BROKK и располагали на расстоянии 0,5 м от пенала, при этом спектрометрический детектор заменяли на менее чувствительный (ввиду существенно больших потоков гамма-излучения на малых расстояниях) [5], [6];
- пенал взвешивался, затем извлекался из ячейки и перемещался над ячейкой 122 с помощью тали. В этом положении производилось измерение спектрального состава по длине пенала и получение его гамма-изображения;
- сканирование пеналов производилось путем опускания их в ячейку вдоль датчика «Гамма-пионера», распределение локальной МЭД и детальных спектральных распределений записывалось в его память;
- с помощью прибора УИМ производились измерения МЭД на расстоянии 1 м и 4,5 м от пенала (в месте расположения «Гамма-пионера»);
- в дальнейшем полученные спектры гамма-излучения в лабораторных условиях обрабатывались по специальным алгоритмам, позволяющим определить активность отдельных радионуклидов;
- в случае простого нуклидного состава, когда МАЭД гамма-излучения определялась ^{137}Cs, результаты обрабатывались по программе «Микрошилд» с учетом геометрии пенала

исходя из значения МАЭД, измеренной на расстоянии 1 м от пенала;

- в конце каждого рабочего дня ячейки хранилища закрывались защитной пробкой, производилась запись о характере выполненных работ, дозах персонала и максимальных дозах, измеренных на расстоянии 1 м от пенала. По окончании ежедневных работ производилось измерение фильтров установок контроля воздуха с целью определения средней объемной активности аэрозолей при выполнении данных работ.

Обследование отдельных пеналов

На всех этапах работ выполнялись фото- и видеосъемка основных технологических операций с электронной архивацией материалов. В качестве примера на рис. 5 представлено фотоизображение одной из ячеек хранилища.

Рис. 5. Вид внутреннего объема ячейки хранилища

Управление спецтехникой в условиях прямой видимости осуществлялось при проведении подготовительных и промежуточных операций. Подъем пенала из ячейки контролировался дистанционно посредством мониторов видеосистем. Пост дистанционного управления спецтехникой размещался в операторской за стеной хранилища. Для выполнения фотосъемки содержимого ячеек допускалось использование ручного цифрового фотоаппарата, съемка велась под наблюдением и с разрешения дозиметриста.

Контрольные измерения МАЭД ГИ на срезе открытой ячейки выполнялись прибором ДКС-96 с детектором на удлинительной штанге. При необходимости выполнялся гамма-каротаж ячеек. При их обводнении производилась откачка воды электронасосом с первичным заполнением трубопровода с помощью ручной помпы. Сбор ЖРО из ячеек производился в двухсотлитровые бочки. В конце каждого дня бочки вывозись и сливались в спецканализацию. Их перемещение выполнялось с использованием автопогрузчика.

Спектрометрические и радиометрические измерения извлекаемых пеналов выполнялись дистанционно с применением комплекса «Гамма-пионер», гамма-камеры «Картогам» и детектора БДМГ-1000 прибора УИМ-2-2 на кабеле длиной 25 м. На рис. 6 представлено гамма-изображение пенала, установленного в месте регистрации, на фоне стенки хранилища.

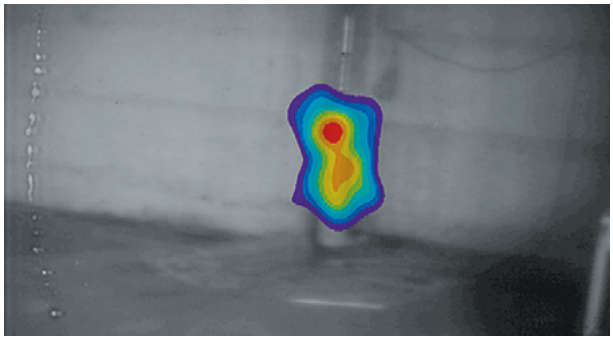

Рис. 6. Гамма-изображение пенала

Пульт прибора устанавливался в операторской. В результате спектрометрических измерений определялся радионуклидный состав отходов, содержащихся в пенале и их удельная активность. Наличие линий характеристического излучения урана в диапазоне 90—115 кэВ в регистрируемых спектрах качественно указывало на присутствие урансодержащих масс [7].

Во время спектрометрических измерений персонал размещался в зонах низких радиационных полей в операторской. В качестве примера в табл. 1 представлены результаты обследования пеналов из ячейки 52 диаметром 190 мм.

Таблица 1. Характеристики нескольких пеналов из ячейки 52 хранилища ВАО и САО

№ пенала	Масса пенала, кг	Масса содержимого, кг	МЭД на 1 м, мЗв/ч	Расстояние детектор — пенал, м	Активность радионуклидов, Бк
6	18	10,6	0,218	5,7	^{137}Cs: 4,0·10^{9}; ^{60}Co: 3,2·10^{7}. Возможно наличие топлива
4	20	12,6	0,16		^{137}Cs: 2,8·10^{9}; ^{60}Co: 4,7·10^{7}. Возможно наличие топлива
5	18	10,6	0,075		^{137}Cs: 1,4·10^{9}; ^{60}Co: 3,1·10^{7}
77и	22	14,6	0,48		^{137}Cs: 7,8·10^{9}; ^{60}Co: 2,3·10^{8}

Гамма-камера «Картогам» помимо гамма-изображения позволяет определить область излучающего объекта, которая дает основной вклад в МАЭД гамма-излучения, и ее значение в месте расположения детектора камеры. В качестве примера на рис. 7 представлено изображение этой области и значение МАЭД, создаваемое ею, в месте размещения детектора «Картогам».

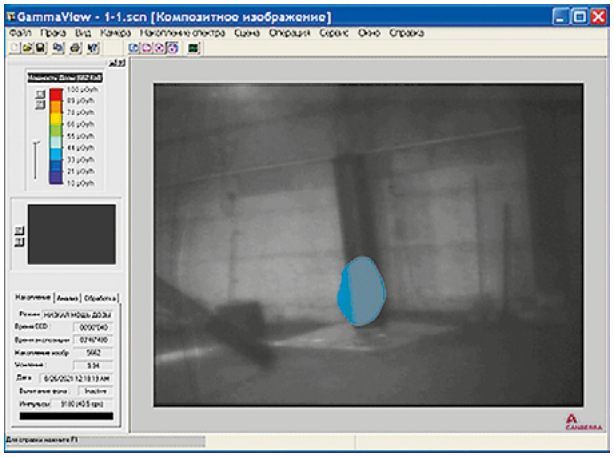

Рис. 7. Изображение области основного вклада в МАЭД от излучающего объекта и ее значение – шкала сверху слева

При этом сравнение результатов измерения гамма-камерой совпадало с полученными стандартным дозиметром в пределах его погрешности измерения.

Верификацию данных о суммарной активности пеналов, полученных системой «Гамма-пионер», проводили, сравнивая с оценками активности, найденными для пеналов, основная активность которых определялась ^{137}Cs. Активность ^{137}Cs оценивалась на основании результатов измерения МАЭД на расстоянии 1 м от пенала и геометрии пенала и рассчитывалась программой «Микрошилд» исходя из значения МАЭД. Полученные значения совпадали в пределах стандартной погрешности дозиметрических измерений, составляющей 12—15 %.

В случае, когда активность пенала превышала значения 10^{10} Бк по ^{137}Cs, проводили детальные измерения распределения локальной мощности дозы и спектральных характеристик гамма-излучения вдоль длины пенала с помощью системы «Гамма-пионер» со слабочувствительным детектором и установленной на дистанционно управляемый механизм «Брокк-90». Сравнение этих результатов и гамма-изображения, полученного гамма-камерой «Картогам», показало хорошее соответствие результатов. На рис. 8 представлено гамма-изображение и распределение локальной мощности дозы, полученные для одного и того же пенала. Относительное распределение активности, представленное на гамма-изображении, хорошо соответствует распределению локальной мощности дозы.

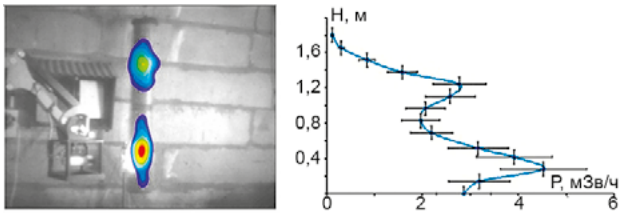

Рис. 8. Сравнение распределения локальной мощности дозы, полученное системой «Гамма-пионер», и гамма-изображения гамма-камеры «Картогам»

Основные результаты обследования ячеек хранилища ВАО и САО

В результате работ по обследованию всех ячеек хранилища ВАО и САО были составлены паспорта пеналов, которые включали: номера пенала и ячейки размещения, значения МАЭД ГИ по центру пенала на расстоянии 1 м, результаты спектрометрических измерений с целью определения радионуклидного состава, значения активности отдельных радионуклидов, категорию и класс РАО.

Обследование ячеек диаметром 416 мм

Всего было обследовано 60 ячеек диаметром 416 мм. Из результатов радиометрических, дозиметрических и спектрометрических измерений можно сделать следующие выводы:

- мощность дозы на расстоянии 1 м от пеналов изменялась в широком диапазоне и достигала 3 Зв/ч;
- активность содержимого пеналов обусловлена главным образом радионуклидами ^{60}Co, ^{137}Cs. В некоторых из них присутствовали радионуклиды ^{152}Eu, ^{154}Eu, ^{166m}Ho и ^{94}Nb.

В одном пенале находились отходы, удельная активность ^{137}Cs которых достигала ~ $2\cdot10^{6}$ кБк/кг, в 66 — содержались отходы с удельными активностями ^{60}Co в диапазоне $4\cdot10^{5}$—$1{,}1\cdot10^{7}$ кБк/кг, в 29 — были размещены отходы с суммарными удельными активностями ^{60}Co и ^{137}Cs в диапазоне $2\cdot10^{4}$—$3{,}3\cdot10^{6}$ кБк/кг, в 12 — отходы имеют более сложный нуклидный состав, включающий ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{152}Eu, ^{154}Eu, ^{166m}Ho, ^{94}Nb, с удельными активностями, попадающими в диапазон 10^{5}—10^{6} кБк/кг.

РАО, размещенные в пеналах, хранящихся в ячейках диаметром 416 мм, относятся к следующим категориям: НАО — 644 кг, САО — 5 823 кг и ВАО — 167 кг.

Обследование ячеек диаметром 364, 329 и 190 мм

В ходе работ было также обследовано 36 ячеек диаметром 364, 329 и 190 мм, в которых находилось 123 пенала с РАО. Из результатов радиометрических, дозиметрических и спектрометрических измерений следуют основные выводы:

- мощность дозы на расстоянии 1 м от пеналов варьировалась в широком диапазоне и максимальные значения составляли 3 Зв/ч;
- активность содержимого пеналов обусловлена главным образом радионуклидами ^{60}Co, ^{137}Cs. В некоторых пеналах присутствовали радионуклиды ^{108}Ag и ^{94}Nb.

В 15 пеналах были обнаружены отходы, загрязненные радионуклидом ^{60}Co, с удельной активностью в диапазоне $9\cdot10^3$—$7\cdot10^5$ кБк/кг, в 7 — загрязненные ^{137}Cs, с удельной активностью в диапазоне $2\cdot10^3$—10^6 кБк/кг, в 77 — загрязненные как ^{137}Cs, так и ^{60}Co, с удельной активностью в диапазоне $9\cdot10^2$—$1{,}5\cdot10^7$ кБк/кг. В 24 пеналах отходы имели сложных нуклидный состав, включающий ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{94}Nb, ^{108}Ag, с суммарной удельной активностью в диапазоне $2\cdot10^4$—$5\cdot10^6$ кБк/кг.

В пеналах ячеек диаметром 364, 329 и 190 мм находились РАО, относящиеся к следующим категориям: низкоактивные (НАО) — 160 кг, САО — 1960 кг и ВАО — 128 кг.

Заключение

Выполнено обследование радиоактивного содержимого в пеналах, размещенных в ячейках хранилища ВАО и САО реактора МР. Целью работ являлось определение объемов РАО, их категорийность, активность радионуклидов, нуклидный состав, массогабаритные характеристики и т. д. Все эти данные необходимы для разработки программы по ликвидации данного хранилища и оценке затрат на их выполнение.

В результате были обследованы более 230 пеналов, на которые составлены паспорта с характеристиками радиоактивного содержимого в каждом пенале. Эти данные позволили обобщить информацию и сделать выводы, что в хранилище содержатся более 800 кг НАО, около 7 800 кг САО и около 300 кг ВАО.

В ближайшее время возможно удалить пеналы с НАО, что позволит освободить отдельные ячейки для размещения в них РАО, возникающих в ходе работ по ликвидации вспомогательных систем реактора МР. В дальнейшем предстоит решать вопрос о удалении на длительное хранение других категорий РАО.

Литература

1. *Иванов О. П., Семенов С. Г., Лемус А. В. и др.* Демонтаж оборудования реактора МР // Атомная энергия. 2015. Т. 119. Вып. 1. С. 50—55.

2. *Волкович А. Г., Колядин В. И., Лемус А. В. и др.* Демонтаж строительных конструкций в зале реактора МР // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 22—29. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-22-29.

3. *Волкович А. Г., Лемус А. В., Иванов О. П. и др.* Особенности демонтажа внутрикорпусных конструкций реактора РФТ // Атомная энергия. 2016. Т. 121. Вып. 5. С. 294—298.

4. *Степанов В. Е., Потапов В. Н., Смирнов С. В., Данилович А. С.* Радиационное обследование помещений реактора МР с использованием дистанционно управляемой сканирующей системы // Атомная энергия. 2012. Т. 113. Вып. 2. С. 101—105.

5. *Иванов О. П., Степанов В. Е., Смирнов С. В. и др.* Дистанционно-управляемые приборные средства для проведения измерений в интенсивных полях гамма излучений // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2011. № 2. С. 48—50.

6. *Иванов О. П., Степанов В. Е., Смирнов С. В. и др.* Дистанционно управляемый коллимированный детектор γ-излучения для измерения радиоактивных загрязнений // Атомная энергия. 2010. Т. 109. Вып. 2. С. 82—83.

7. *Потапов В. Н., Степанов В. Е., Волкович А. Г., Смирнов С. В.* Обнаружение урана в твердых высокоактивных отходах с помощью спектрометрического CdZnTe детектора // Атомная энергия. 2012. Т. 113. Вып. 2. С. 106—109.

Информация об авторах

Волкович Анатолий Григорьевич, кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1), e-mail: Volkovich_AG@nrcki.ru.

Лемус Алексей Владимирович, начальник отдела, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1), e-mail: Lemus_AV@nrcki.ru.

Иванов Олег Петрович, доктор физико-математических наук, начальник отдела, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1), e-mail: Ivanov_OP@nrcki.ru.

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

Рязанова Людмила Анатольевна, начальник группы, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1), e-mail: Ryazanova_LA@nrcki.ru.

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

Степанов Евгений Александрович, инженер-исследователь, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1), e-mail: Stepanov_EA@nrcki.ru.

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

Библиографическое описание статьи

Волкович А. Г., Лемус А. В., Иванов О. П., Павленко В. И., Рязанова Л. А., Семенов С. Г., Степанов Е. А., Чесноков А. В. Обследование содержимого ячеек хранилища высоко- и среднеактивных отходов реактора МР // Радиоактивные отходы. 2023. № 1 (22). С. 102—109. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-102-109.

EXAMINATION OF THE WASTE HELD IN A STORAGE FACILITY FOR HIGH- AND INTERMEDIATE-LEVEL WASTE FROM THE MR REACTOR

Volkovich A. G., Lemus A. V., Ivanov O. P., Pavlenko V. I., Ryazanova L. A., Semenov S. G., Stepanov E. A., Chesnokov A. V.

National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

Article received on December 15, 2022

The article presents the results of a survey carried out at a storage facility for intermediate- and high-level waste established during the operation of MP and RFT research reactors at the site of the Russian Research Center Kurchatov Institute. Relevant survey methods were selected based on the personnel safety requirements for measurements, permissible individual and collective annual exposure of personnel and the population, standards for contaminated environmental objects. All RW containers held in the storage cells were certified and handled properly to ship them from the site of the RRC Kurchatov Institute. The decommissioning designs for this storage facility will be developed based on the data obtained.

Keywords: *radioactive waste, radionuclides, specific activity, radiometry, spectrometry, remotely controlled mechanisms, γ-images.*

References

1. Ivanov O. P., Semenov S. G., Lemus A. V. et al. Demontazh oborudovaniya reaktora MR [Dismantling of MR-Reactor In-Vessel Setups]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2015, vol. 119, issue 1, pp. 50—55.

2. Volkovich A. G., Kolyadin V. I., Lemus A. V. et al. Demontazh stroitel'nykh konstruktsii v zale reaktora MR [Dismantlement of Building Structures in MR Reactor Hall]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2020, no. 4 (13), pp. 22—29. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-22-29.

3. Volkovich A. G., Lemus A. V., Ivanov O. P. et al. Osobennosti demontazha vnutrikorpusnykh konstruktsiy reaktora RFT [Features of Dismantling of Core Equipment of the RFT Reactor]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2016, vol. 121, issue 5, pp. 294—298.
4. Stepanov V. E., Potapov V. N., Smirnov S. V., Danilovich A. S. Radiatsionnoye obsledovaniye pomeshcheniy reaktora MR s ispol'zovaniyem distantsionno upravlyayemoy skaniruyushchey sistemy [Radiological Examination of MR Reactor Rooms Using a Remote-Controlled Spectrometric Scanning System]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2012, vol. 113, issue 2, pp. 101—105.
5. Ivanov O. P., Stepanov V. E., Smirnov S. V. et al. Distantsionno-upravlyayemyye pribornyye sredstva dlya provedeniya izmereniy v intensivnykh polyakh gamma izlucheniy [Remote-Controlled Equipment for the Measurements in the Intensive Fields of Gamma-Radiation]. *Yadernyye izmeritel'no-informatsionnyye tekhnologii — Nuclear measuring and information technologies,* 2011, no. 2, pp. 48—50.
6. Ivanov O. P., Stepanov V. E., Smirnov S. V. et al. Distantsionno upravlyaemyy kollimirovannyy detektor γ-izlucheniya dlya izmereniya radioaktivnykh zagryazneniy [Remotely controlled collimated detector for measuring the distribution of radioactive contamination]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2010, vol. 109, issue 2, pp. 82—83.
7. Potapov V. N., Stepanov V. E., Volkovich A. G., Smirnov S. V. Obnaruzheniye urana v tverdykh vysokoaktivnykh otkhodakh s pomoshch'yu spektrometricheskogo CdZnTe detektora [Uranium Detection in Solid Radwastes with a CdZnTe Spectrometric Detector]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2012, vol. 113, issue 2, pp. 106—109.

Information about the authors

Volkovich Anatoly Grigoryevich, PhD, head of laboratory, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Volkovich_AG@nrcki.ru.

Lemus Alexey Vladimirovich, head of division, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Lemus_AV@nrcki.ru.

Ivanov Oleg Petrovich, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, head of division, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Ivanov_OP@nrcki.ru.

Pavlenko Vitaly Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, leading scientist, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Pavlenko_VI@nrcki.ru.

Ryazanova Ludmila Anatolievna, head of grupp, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Ryazanova_LA@nrcki.ru.

Semenov Sergey Gennalyevich, Doctor of Technical Sciences, head of department, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Semenov_SG@nrcki.ru.

Stepanov Evgeniy Alexandrovich, research engineer, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Stepanov_EA@nrcki.ru.

Chesnokov Alexander Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary, National Research Center "Kurchatov Institute" (1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Chesnokov_AV@nrcki.ru.

Bibliographic description

Volkovich A. G., Lemus A. V., Ivanov O. P., Pavlenko V. I., Ryazanova L. A., Semenov S. G., Stepanov E. A., Chesnokov A. V. Examination of the waste held in a storage facility for high- and intermediate-level waste from the MR reactor. *Radioactive Waste,* 2023, no. 1 (22), pp. 102—109. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-102-109. (In Russian).