ДЕМОНТАЖ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗАЛЕ РЕАКТОРА МР

А. Г. Волкович, В. И. Колядин, А. В. Лемус, 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 14 сентября 2020 г.

В статье представлены технологии демонтажа строительных конструкций и вспомогательных систем в центральном зале исследовательского реактора МР в НИЦ «Курчатовский институт». Удаление загрязненных конструкций и систем выполнялось в основном дистанционно с применением энерговооруженного оборудования. Выбор оборудования и методов проведения демонтажа был обусловлен требованиями безопасности, соблюдением нормативов для загрязнения объектов окружающей среды, которые определялись местоположением реактора в густонаселенном районе г. Москвы. Основной задачей работ было приведение помещения реакторного зала МР в соответствие с критериям конечного состояния, определенным проектом вывода из эксплуатации. Подведены основные итоги и высказаны рекомендации по обеспечению радиационной безопасности при обращении с РАО, обобщен полученный опыт с целью использования его на других объектах.

Ключевые слова: исследовательский реактор, радиоактивность, радиоактивные отходы, радиоактивное загрязнение, радиометрические методы диагностики, дистанционно управляемые механизмы.

Введение

Вывод из эксплуатации исследовательских реакторов, на которых уровень загрязнения отдельных конструкций превышает уровни загрязнения энергетических реакторов, предполагает возможность возникновения скрытых загрязнений на всех стадиях работ. Объемы радиоактивных отходов (РАО), определяемые на стадии комплексного инженерно-радиационного обследования (КИРО) и заложенные в проект вывода из эксплуатации, представляют собой в основном загрязненное оборудование. Органы госрегулирования не включили в проект другие загрязненные объекты и материалы, такие как строительные конструкции самого реактора, скрытые старые линии спецканализации, скрытые вспомогательные загрязненные

трубопроводы и другие. Ликвидация этих объектов и обращение с РАО, возникающими на этой стадии работ, является основной целью заключительного этапа вывода из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт». В 2011–2015 гг. были выполнены работы по демонтажу оборудования и систем реактора МР, а также его экспериментальных петлевых установок [1–2]. Затем было демонтировано оборудование активной зоны реактора МР и удалена графитовая кладка реактора РФТ [2–3]. После этого в 2016–2019 гг. были демонтированы системы спецканализации в технологических помещениях реактора, что позволило перейти к демонтажу строительных конструкций в реакторном зале МР.

Вспомогательные системы и объекты, расположенные в зале реактора МР

В реакторном зале МР, помимо самих реакторов МР и РФТ, были расположены: хранилище облученного топлива, бассейн-хранилище реактора МР, хранилище РАО РФТ, камера резки и другие. Схема расположения объектов, подлежащих демонтажу в зале реактора МР, приведена на рис. 1.

Рис. 1. Схема расположения зон проведения демонтажных работ в зале реактора МР

Ликвидация представленных выше систем и дезактивация их строительных конструкций до уровней, соответствующих конечному состоянию, определенному в проекте вывода из эксплуатации реакторов МР и РФТ, было основной задачей работ в данном помещении [4].

Демонтаж конструкций хранилища ОЯТ

Сухое хранилище ОЯТ располагалось в юго-восточной части центрального зала реактора, вблизи бассейна-хранилища реактора МР. Оно представляло собой 30 вертикальных цилиндрических ячеек, расположенных в 3 ряда (по 10 ячеек в ряду). Ячейки были размещены в бетонном массиве, лежащем ниже уровня пола центрального зала реактора. В каждом ряду имелось 5 ячеек, облицованных трубами 168×6 мм, и 5 ячеек, облицованных трубами 140×6 мм. Материал облицовочных труб — нержавеющая аустенитная сталь Х18Н9Т. Глубина ячеек хранилища, то есть расстояние от его верхней загрузочной поверхности до дна ячеек, составляла 4900 мм. Ячейки хранилища в плане располагались в узлах прямоугольной сетки с шагом 200×200 мм. Каждая ячейка хранилища закрывалась индивидуальной защитной пробкой, фланец которой лежал на загрузочной поверхности и имел толщину 30 мм.

Конструктивные особенности хранилища ОЯТ и схема его расположения в центральном зале реактора показаны на рис. 2.

Рис. 2. Конструктивные особенности сухого приреакторного хранилища ОЯТ и схема расположения его в центральном зале реактора

С целью определения уровней загрязнения был проведен гамма-каротаж и измерение поверхностной активности внутренних поверхностей труб (с помощью мазков) ячеек хранилища. Результаты каротажа приведены в табл. 1, результаты измерения загрязнения поверхностей труб — в табл. 2.

Таблица 1. Картограмма гамма-каротажа хранилища ОЯТ в зале МР, мкЗв/ч

Глубина, (м)	Номер ячейки (см. рис. 2)			
	2–10	2–7	2–4	2–1
0	160	20	12	42
–1	35	5	5	44
–2	15	5	5	42
–3	15	7	7	20
–4	25	12	32	30
–4,4	100		42	70
–4,5	1750	100	300	2000

Таблица 2. Измерение загрязненности поверхностей труб (дно) методом мазков, β-част/см²·мин

№ ячейки	1	2	3	4	5
1	1300	1000	1200	1700	8000
2	1200	500	2400	3000	8000
3	2800	6000	2000	10000	>1000000
№ ячейки	6	7	8	9	10
1	9000	170000	170000	>1000000	>1000000
2	10000	10000	7000	>1000000	23000
3	30000	35000	3100	11000	60000

Из данных, приведенных в табл. 1 и 2, следует, что в некоторых ячейках имеется значительное (свыше 10^6 β -част/см²·мин) радиоактивное загрязнение поверхностей труб.

Демонтаж хранилища облученного топлива был выполнен в 2 этапа (рис. 3): на первом был выполнен демонтаж части биологической защиты, перекрывающей доступ к хранилищу ОЯТ, на втором были демонтированы металлоконструкции хранилища, проведена сортировка металлоконструкций и бетонного боя, РАО были упакованы в контейнеры и удалены на накопительную площадку.

Рис. 3. Схема расположения хранилища ОЯТ и камеры резки

Работы по демонтажу хранилища производились с использованием комплекса БРОКК-400, установленного на площадке на отметке 0,0 м со стороны малых ворот, и БРОКК-330, установленного на настиле в бассейне-хранилище на отметке -6,0 м. БРОКК-330 оснащался в зависимости от выполняемых операций гидромолотом, гидроножницами, грейфером или абразивной отрезной машиной, а БРОКК-400 — гидромолотом. Для погрузки твердых радиоактивных отходов (ТРО) использовались контейнеры КМЗ и КРАД-1.36.

В связи с тем, что внутренняя поверхность труб хранилища ОЯТ имела загрязнение до 10^6 β -част/(см²·мин), проводились мероприятия по предотвращению выхода радиоактивного загрязнения за пределы оболочек труб при их демонтаже и фрагментации. Внутренняя поверхность труб обрабатывалась локализирующим составом ВЛ с использованием установки ВАГНЕР. Обработка производилась с интервалом 3 часа в течение двух смен. После обработки внутрь каждой трубы вставлялись пропитанные ВЛ тканевые заглушки.

После тампонирувания труб ячеек производилось разрушение бетонной матрицы вокруг хранилища с применением комплекса БРОКК-400, оснащенного гидромолотом, с площадки над камерой резки.

При разрушении бетонной матрицы вокруг хранилища ОЯТ использовалась система локальной вентиляции с отбором воздуха из зоны демонтажа и передачей его в короб спецвентиляции в районе малых ворот зала.

Этапы работ по демонтажу хранилища облученного топлива приведены на рис. 4.

Рис. 4. Демонтаж хранилища ОЯТ

Демонтаж нижней опоры корпуса реактора

Нижняя опора корпуса реактора МР состояла из 2 элементов (рис. 5). На дне шахты бассейна реактора была смонтирована опорная пластина из нержавеющей стали толщиной 30 мм. Верхняя часть, помимо силового элемента конструкции, являлась коллектором системы циркуляции воды бассейна реактора. Демонтаж нижней опоры реактора производился с использованием мостового крана, плазменной резки, абразивного ручного инструмента, установки канатной резки.

Рис. 5. Демонтаж нижней опоры реактора

Верхняя часть конструкции имела отвод трубопровода Д400 с выводом трубы за пределы бассейна реактора. Для отделения опоры реактора от корпуса шахты использовалась система алмазной канатной резки. Автомат установки резки располагался на срезе бассейна на отметке 0,0 м, рез производился на отметке -8,0 м. После отделения трубопровода от плакировки нижняя опора была извлечена из бассейна реактора с помощью мостового крана реакторного зала. Этапы демонтажа нижней опоры корпуса реактора представлены на рис. 6.

Рис. 6. Этапы демонтажа нижней опоры корпуса реактора

Демонтаж облицовки бассейна реактора МР

Бассейн реактора был окружен бетонной биологической защитой, при этом верхняя часть бака реактора имела форму прямоугольника размером 5,0×5,6 м и высотой 4,3 м, а его нижняя часть представляла собой цилиндр диаметром 3,6 м и высотой 4,8 м (рис. 7). Общая глубина бассейна составляла около 9 м.

Рис. 7. Бассейн реактора МР

Удаление облицовки бассейна реактора выполняли с помощью плазменной резки, в доступных местах применяли резку металла с помощью абразивных инструментов. Отделение металлических листов от биологической защиты

Рис. 8. Демонтаж облицовки реактора МР: использование плазменного резака и ДУМ БРОКК, оснащенного гидромолотом

реактора выполняли дистанционно управляемыми механизмами (ДУМ) БРОКК, оснащенными гидромолотами [5]. Работы по демонтажу облицовки бассейна реактора МР представлены на рис. 8.

При демонтаже облицовки бассейна реактора образовалось ~100 т металлических (нержавеющая сталь) радиоактивных отходов.

Демонтаж биологической защиты реактора МР

Демонтаж железобетонного массива биологической защиты шахты реактора МР производился как с использованием отбойного молотка, установленного на ДУМ БРОКК, так и с использованием технологии алмазной резки (рис. 9) с применением оборудования фирмы CEDIMA (Германия).

Рис. 9. Схема работы установки канатной резки CEDIMA

При разметке резов учитывался вес образующихся фрагментов железобетона — не более 5–6 тонн. При сверлении отверстий в массиве перфоратором с буром по бетону учитывалась максимальная длина бура с удлинителем — 1200 мм. При работе со стенами шлюза толщиной 2–2,2 м использовался прием резки обратной петлей (рис. 9).

Для отделения блока средним размером 1,5–2,0 м³ (вес 4–5 т) от массива, как правило, было

необходимо делать 2 реза — вертикальный и горизонтальный. Затем блок приподнимался за один край гидромолотом БРОКК-330 и подклинивался с двух-трех сторон. В образующийся зазор заводилась ленточная стропа соответствующей грузоподъемности, и блок перегружался мостовым краном реакторного зала на рельсовую транспортную тележку, затем вывозился за пределы здания, откуда с помощью вилочного погрузчика перемещался к месту временного складирования.

С целью оценки возможного количества радиоактивных отходов при демонтаже бетонной защиты реактора МР было пробурено 5 скважин, расположение которых приведено на рис. 10.

Рис. 10. Расположение скважин в бетонной защите реактора

Результаты сканирования скважин в биологической защите реактора МР представлены в табл. 3. Согласно расчетам, для загрязненного радиоактивного объекта, для которого основным дозообразующим нуклидом является ¹³⁷Cs, мощности дозы гамма-излучения в скважине в бетонной защите равной 1 мкЗв/ч соответствует удельная активность ¹³⁷Cs в бетоне 3 кБк/кг.

В табл. 4 приведены результаты оценок удельной активности бетонной защиты ¹³⁷Cs.

Таблица 3. Результаты гамма-сканирования скважин, пробуренных в защите реактора МР, мкЗв/ч

№ скважины	Глубина, м						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	9,5	2,3	0,7	0,4	0,2	0,2	-
2	25	18	3,3	0,45	0,45	0,2	-
3	10	1,7	0,65	0,45	0,2	0,2	-
4	10	6	0,8	0,6	0,2	0,2	-
5	12	9,5	10	11	10,8	8,4	4,3

Таблица 4. Результаты оценок удельной активности бетонной защиты ^{137}Cs , кБк/кг

№ скважины	Глубина, м						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	29	7	2	1,2	0,6	0,6	-
2	75	54	10	1,5	1,5	0,6	-
3	30	5	2	1,5	0,6	0,6	-
4	30	18	2,4	1,8	0,6	0,6	-
5	36	29	30	33	32	25	13

Рис. 11. Схема демонтированной части защиты реактора МР

Схема демонтированной части бетонной защиты реактора МР приведена на рис. 11.

Процесс демонтажа бетонной защиты реактора МР представлен на рис. 12.

В процессе демонтажа биологической защиты образовывался как бетонный бой, так и крупные фрагменты. Бетонный бой загружался в транспортные контейнеры, а крупные фрагменты транспортировались на выделенное место временного складирования для последующей фрагментации на более мелкие элементы, удовлетворяющие требованиям загрузки в транспортные контейнеры.

Общее количество низко- и среднеактивных отходов при демонтажных работах в реакторном зале МР составило 130 м³ неметаллических и ~110 т металлических отходов.

Рис. 12. Демонтаж бетонной защиты реактора МР: использование канатной резки

Закключение

Работы по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» выявили ряд особенностей при обращении с РАО. Прежде всего, объемы кондиционированных РАО оказались больше запроектированных. Однако применение четко регламентированных мер и дополнительных средств радиационного контроля, использование дистанционных методов радиационного обследования и дистанционно управляемых механизмов для производства работ позволило обеспечить выполнение требований по радиационной безопасности при демонтажных работах. Используемые методы и предложенные технологические решения могут стать основой для разработки проектов вывода из эксплуатации других ядерно и радиационно опасных объектов.

Литература

1. Волков В. Г., Иванов О. П., Колядин В. И. 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.

2. Иванов О. П., Колядин В. И., Лемус А. В. и др. Демонтаж оборудования реактора МР // Атомная энергия. 2015. Т. 119. Вып. 1. С. 50–55.

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

4. Коробов В. Ю., Кузнецова Т. И., Курский А. С. и др. Разработка критериев для определения соответствия радиационных параметров выведенного из эксплуатации реактора МР заданному конечному состоянию // АНРИ. 2019. № 4 (99). С. 27–33.

5. Данилович А. С., Павленко В. И., Потапов В. Н. и др. Технологии обращения с РАО при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 63–72.

Информация об авторах

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

Колядин Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, начальник отдела, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д. 1), e-mail: Kolyadin_VI@nrcki.ru.

Лемус Алексей Владимирович, начальник отдела, НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Москва, пл. Курчатова, д. 1), e-mail: Lemus_AV@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 статьи

Волкович А. Г., Колядин В. И., Лемус А. В., Павленко В. И., Потапов В. Н., Семенов С. Г., Чесноков А. В., Шиша А. Д. Демонтаж строительных конструкций в зале реактора МР // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 22–29. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-22-29.

DISMANTLEMENT OF BUILDING STRUCTURES IN MR REACTOR HALL

Volkovich A. G., Kolyadin V. I., Lemus A. V., Pavlenko V. I., Potapov V. N., Semenov S. G., Chesnokov A. V., Shisha A. D.

NRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

Article received on September 14, 2020

The article presents the technologies applied during the dismantlement of building structures and auxiliary systems in the central hall of MR research reactor at the site of NRC Kurchatov Institute. Contaminated structures and systems were mainly removed using remote methods and power-supplied equipment. The latter ones were selected based

on safety requirements, compliance with environmental standards that accounted for the location of the reactor in a densely populated area of the Moscow city. The project was aimed at providing the compliance of MR reactor hall with the criteria specified in the decommissioning designs and describing its final state. The paper summarizes the key results and recommendations on the radiation safety of RW management, as well as the lessons learned during the performed operations seeking for their further application at other facilities.

Keywords: research reactor, radioactivity, radioactive waste, radioactive contamination, radiometric diagnostic methods, remotely controlled mechanisms.

References

1. Volkov V. G., Ivanov O. P., Kolyadin V. I. et al. Metody obrashcheniya s vysokoaktivnymi otkhodami pri vyvode iz ehkspluatatsii issledovatel'skikh reaktorov MR i RFT [Techniques of High Level Radwaste Management at Decommissioning of the Research Reactors MR and RFT]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2013, vol. 115, no. 5, pp. 271–275.
2. Ivanov O. P., Kolyadin V. I., Lemus A. V. et al. Demontazh oborudovaniya reaktora MR [Dismantling of MR-Reactor In-Vessel Setups]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2015, vol. 119, no. 1, pp. 50–55.
3. Volkovich A. G., Ivanov O. P., Lemus A. V. et al. Osobennosti demontazha vnutrikorpusnykh konstruksii reaktora RFT [Features of Dismantling of Core Equipment of the RFT-Reactor]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2016, vol. 121, no. 5, pp. 294–298.
4. Korobov V. Yu., Kuznetsova T. I., Kurskii A. S. et al. Razrabotka kriteriev dlya opredeleniya sootvetstviya radiatsionnykh parametrov vyvedennogo iz ehkspluatatsii reaktora MR zadannomu konechnomu sostoyaniyu [Development of Criteria for Definition of Radiation Parameter Compliance of the MR Reactor Decommissioned to the Project Final State]. *ANRI — ANRI*, 2019, no. 4 (99), pp. 27–33.
5. Danilovich A. S., Pavlenko V. I., Potapov V. N. et al. Tekhnologii obrashcheniya s RAO pri vyvode iz ehkspluatatsii issledovatel'skikh reaktorov MR i RFT [Technologies of Radwaste Management at a Decommissioning of the MR and RFT Research Reactors]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 63–72.

Information about the authors

Volkovich Anatoly Grigoryevich, PhD, Head of Laboratory, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Volkovich_AG@nrcki.ru.

Kolyadin Vyacheslav Ivanovich, PhD, Head of Division, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Kolyadin_VI@nrcki.ru.

Lemus Alexey Vladimirovich, Head of Division, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Lemus_AV@nrcki.ru.

Pavlenko Vitaly Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Leading Scientist, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Pavlenko_VI@nrcki.ru.

Potapov Victor Nikolaevich, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Leading Scientist, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Potapov_VN@nrcki.ru.

Semenov Sergey Gennadievich, PhD, Head of Department, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Semenov_SG@nrcki.ru.

Chesnokov Alexander Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Chesnokov_AV@nrcki.ru.

Shisha Anatoly Dmitrievich, Deputy of Head-Chief Engineer of Department, NRC “Kurchatov Institute” (1, Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia), e-mail: Shisha_AD@nrcki.ru.

Bibliographic description

Volkovich A. G., Kolyadin V. I., Lemus A. V., Pavlenko V. I., Potapov V. N., Semenov S. G., Chesnokov A. V., Shisha A. D. Dismantlement of Building Structures in MR Reactor Hall. *Radioactive Waste*, 2020, no. 4 (13), pp. 22–29. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-22-29.