

ОРГАНИЗАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПУНКТА ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ, СОЗДАННОГО ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО УРАН-ГРАФИТОВОГО РЕАКТОРА ЭИ-2

А. О. Павлюк, С. Г. Котляревский, С. А. Марков, М. В. Шатров

АО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов»,
г. Северск Томской области

Статья поступила в редакцию 5 июня 2018 г.

В 2015 году на площадке № 2 АО «ОДЦ УГР» завершен комплекс работ по выводу из эксплуатации ПУГР ЭИ-2 по варианту «захоронение на месте» в рамках мероприятий ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». В результате был создан пункт хранения радиоактивных отходов ЭИ-2 (ПХ РАО ЭИ-2).

ЭИ-2 – промышленный уран-графитовый ядерный реактор, расположенный на площадке предприятия АО «ОДЦ УГР». ЭИ-2 был введен в эксплуатацию в 1958 г., остановлен 28 декабря 1990 г., проработал 33 года.

В ПХ РАО создана система инженерных барьеров безопасности. Проведенные экспериментальные исследования и прогнозные оценки показали, что система естественных (вмещающие породы) и инженерных барьеров обеспечивают надежную изоляцию радионуклидов в объеме ПХ РАО ЭИ-2. При этом прогнозируется радиационное воздействие на население и окружающую среду на существенно более низком уровне, чем предельные значения нормируемых показателей.

Вывод из эксплуатации ПУГР ЭИ-2 по варианту «захоронение на месте» является пилотным проектом, поэтому необходимо подтверждение безопасности выбранного варианта вывода из эксплуатации путем оценки влияния на население и окружающую среду уже созданного ПХ РАО. С этой целью в АО «ОДЦ УГР» осуществляется мониторинг площадки размещения созданного объекта по комплексу ключевых параметров, а также ведутся работы по ее развитию.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, промышленный уран-графитовый реактор, мониторинг, барьеры безопасности, барьерный материал, пункт хранения РАО.

Введение

Согласно утвержденной Государственной корпорацией «Росатом» «Концепции вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) по варианту радиационно безопасного захоронения на месте», обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации ПУГР осуществляется путем надежной изоляции РАО на площадке его размещения, обеспечивающей радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды [1]. При реализации данной концепции непосредственно для основных конструктивных элементов реакторных установок (графитовая кладка, несущие

металлоконструкции, биологическая защита), не подлежащих демонтажу и удалению, выполнение указанных требований возможно только при условии создания дополнительных барьеров безопасности, обеспечивающих надежную изоляцию радионуклидов, содержащихся в материалах и конструкциях реакторных установок. Долговременная безопасность создаваемого ПХ РАО обеспечивается совокупностью барьерных свойств природно-геологических образований (вмещающие и покрывающие породы) и создаваемых инженерных барьеров безопасности, физико-химических свойств материалов, содержащих РАО.



Рис. 1. Внешний вид здания ПУГР ЭИ-2 до начала работ по выводу из эксплуатации в 2011 г. (слева); ПХ РАО ЭИ-2 после окончания работ в 2015 г. (справа)

Проект вывода из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ-2

В качестве пилотного объекта для вывода из эксплуатации по варианту радиационно безопасного захоронения на месте был выбран остановленный промышленный уран-графитовый реактор ЭИ-2 АО «ОДЦ УГР». За время эксплуатации реактора его конструкции накопили значительное количество радионуклидов, в том числе долгоживущих (^{14}C , ^{36}Cl , актиниды).

В основе научно-технического обоснования проекта вывода из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ-2 (рис. 1) лежит комплексный подход, основанный:

- на гарантированном непревышении уровней вмешательства (УВ) по содержанию в объектах окружающей среды изолируемых радионуклидов;
- на гарантированном непревышении установленных нормативными требованиями пара-



Рис. 2. Пункт хранения РАО ЭИ-2 АО «ОДЦ УГР»: 1 – вмещающие породы; 2 – стены шахты реактора и конструкции здания (бетон); 3 – графитовая кладка и основные металлоконструкции реактора; 4 – забетонированные пространства под реактором; 5 – барьерный материал на основе глины в полостях реакторного пространства и помещениях, окружающих шахту реактора; 6 – защитный экран

метров радиационного воздействия изолируемых радионуклидов.

С технической стороны практическая реализация такого подхода заключается в проведении следующих работ [2]:

- проведение полного демонтажа и удаление из здания реактора демонтируемых систем и оборудования;
- удаление из здания реактора накопленных РАО, за исключением несменяемых элементов конструкций ПУГР (графитовая кладка, несущие металлоконструкции, биологическая защита);
- усиление бетонных подреакторных пространств;
- создание инженерных барьеров путем свободного заполнения свободных пространств в графитовой кладке, шахте реактора и помещениях здания барьерными материалами [3–6];
- демонтаж надземной части здания и создание инженерных барьеров (защитный экран) над ПХ РАО (рис. 2).

Прогнозные оценки выхода радионуклидов из ПХ РАО ЭИ-2, их миграции в окружающую среду и динамики параметров радиационного воздействия на население в ходе обоснования проекта вывода из эксплуатации сделаны с помощью специальных расчетных программ [7]. Исходные данные, использованные в расчетах, были получены в ходе инженерного и радиационного обследования реактора, лабораторных и макетных испытаний свойств барьерных материалов и вмещающих пород, геофизических и геохимических исследований площадки размещения реактора.

Реализация проекта вывода из эксплуатации ПУГР ЭИ-2

В ходе реализации проекта проведен полный демонтаж вспомогательного оборудования, конструкций, трубопроводов, технологических коммуникаций. Одновременно выполнялись сбор и удаление радиоактивных отходов, накопленных в процессе эксплуатации в технологических шахтах и бассейне выдержки ОЯТ. Демонтированное оборудование и извлеченные



Рис. 3. Создание дополнительных барьеров безопасности в шахте ПУГР ЭИ-2: вид центрального зала при заполнении (слева), барьерный материал в полостях шахты реактора (центр), инспекционный канал в технологической шахте (справа)

РАО были переработаны и кондиционированы. Подреакторное пространство, основание реактора ЭИ-2 до нижних металлоконструкций, вспомогательные помещения нижних отметок были заполнены бетоном. В шахте реактора были созданы инженерные барьеры безопасности с применением технологии бесполостного заполнения пустот барьерным материалом на основе глиняных композиций [5, 6]. На первом этапе заполнялись пустоты в подреакторных опорных металлоконструкциях и боковое пространство между кожухом реактора и баками боковой биологической защиты (рис. 3). Далее засыпались сами технологические ячейки графитовой кладки. В завершение заполнялись полости надреакторных конструкций и вспомогательные помещения, в том числе транспортно-технологические емкости. Общий объем глинистых смесей, использованных для создания инженерных барьеров безопасности ПХ РАО ЭИ-2, составил ~40000 м³.

После дезактивации строительных конструкций был проведен демонтаж надземной части здания размещения ПУГР ЭИ-2. Демонтаж осуществляли с помощью спецтехники и оборудования, обеспечивающих минимизацию пыления при разрушении конструкций. На месте

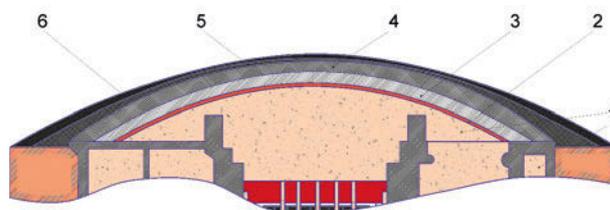


Рис. 4. Структура защитного экрана ПХ РАО ЭИ-2 АО «ОДЦ УГР»:

1 – глиносодержащая засыпка; 2 – песок средней крупности; 3 – пластичная глина; 4 – щебень; 5 – песок средней крупности; 6 – растительный грунт

демонтированного здания над шахтой реактора, заполненной барьерным материалом, был создан многослойный защитный экран (рис. 4).

Для контроля состояния инженерных барьеров в ПХ РАО ЭИ-2 были установлены инспекционные каналы (рис. 5, 6):

- по центру реактора – канал № 1;
- на периферии здания (в технологической шахте ШТ-2) – канал № 2;
- на периферии шахты реактора (в «реакторном пространстве») – канал № 3.

В соответствии с требованиями НП-091-14 [8] в июне 2016 года выполнено заключительное инженерное и радиационное обследование

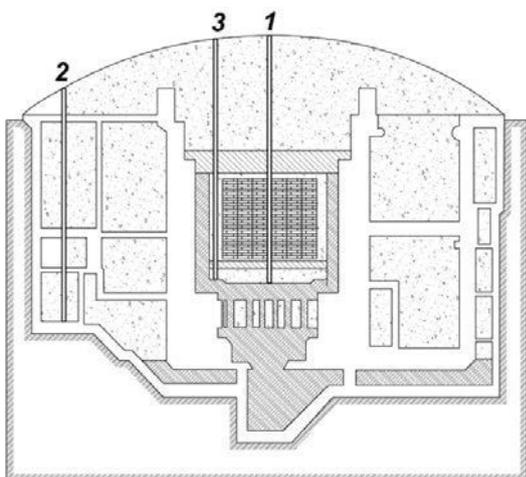


Рис. 5. Система инспекционных каналов в ПХ РАО ЭИ-2

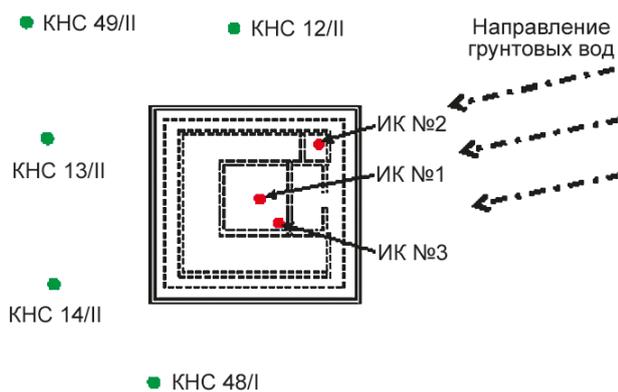


Рис. 6. Схема расположения: ● инспекционные каналы (ИК) в ПХ РАО ЭИ-2; ● контрольно-наблюдательные скважины (КНС) в зоне влияния ПХ РАО ЭИ-2

пункта хранения РАО, созданного в результате реализации проекта ВЭ ЭИ-2, включающее:

- снятие картограммы распределения радиационных характеристик альфа-, бета- и гамма-излучений на поверхности защитного экрана и прилегающей территории;
- отбор проб грунта с защитного экрана и прилегающей территории ПХ РАО с последующим гамма-спектрометрическим анализом и определением удельной активности проб;
- оценку состояния инспекционных каналов дистанционным визуальным осмотром;
- оценку состояния защитного экрана и прилегающей территории визуальным осмотром, георадарными и электроразведочными исследованиями.

По результатам обследования подтверждено соответствие конечного состояния объекта проектному.

Мониторинг ПХ РАО ЭИ-2 АО «ОДЦ УГР»

В соответствии с требованиями НП-055-2014 [9] безопасность ПХ РАО обеспечивается созданием системы барьеров (инженерных и естественных) на пути распространения радиоактивных веществ в окружающую среду. Нарушение целостности одного из барьеров или внешнее событие природного или техногенного происхождения не должны приводить к снижению уровня долговременной безопасности изолируемых РАО (принцип многобарьерности).

В связи с тем, что вывод из эксплуатации ПУГР ЭИ-2 является пилотным проектом, подтверждение параметров безопасности реализованных проектных решений является одной из ключевых задач созданного ПХ РАО. Для этого необходима организация комплексной системы мониторинга состояния системы барьеров ПХ РАО и его влияния на объекты окружающей среды путем ведения систематического контроля по ряду ключевых параметров.

В настоящее время контроль этих параметров ПХ РАО ЭИ-2 ведется в соответствии с

ТР-170000-002-2015 «Технический регламент пункта консервации особых радиоактивных отходов» и РБ-Р-080000-002-2015 «Регламент радиационного мониторинга пунктов хранения радиоактивных отходов» по следующим направлениям:

- мониторинг состояния подземных вод по сети из 33 стационарных контрольно-наблюдательных скважин (КНС) площадки № 2, в том числе 5 КНС, расположенных в условно выделенной зоне влияния ПХ РАО ЭИ-2 (рис. 6);
- радиационное обследование территории и грунтов в районе ПХ РАО ЭИ-2;
- контроль температуры в графитовой кладке.

Основные результаты мониторинга ПХ РАО ЭИ-2 АО «ОДЦ УГР»

В ходе мониторинга состояния подземных вод по сети стационарных контрольно-наблюдательных скважин (КНС) в зоне влияния ПХ РАО ЭИ-2 выполнены измерения и исследования:

- замеры уровней подземных вод в контрольных скважинах;
- отбор проб пластовых вод;
- геофизические исследования методом гамма-каротажа контрольных скважин;
- определение характеристик содержания макрокомпонентов подземных вод (рН, жесткость общая, NH_4^+ , Fe (общ.), NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-});
- определение суммарной α -, β -активности, объемной активности ^{90}Sr и γ -излучающих радионуклидов.

Значения нормируемых критериев, а также нижние пределы определения по химическому составу и объемной активности радионуклидов в пробах подземных вод приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели, определяемые в пробах подземных вод

Определяемые показатели	Единицы измерения	Значения нормируемых критериев	Нижний предел обнаружения
рН		7–9*	1,0
Жесткость общая	мг-экв/дм ³	7,0*	0,6
NH_4^+	мг/дм ³	2,0* (по азоту)	0,5
Fe (общ.)	мг/дм ³	0,3*	0,02
NO_3^-	мг/дм ³	45,0*	0,1
Cl^-	мг/дм ³	350,0*	0,5
SO_4^{2-}	мг/дм ³	500,0*	0,5
$\Sigma\beta$ -активность	Бк/дм ³	1,0**	0,01
$\Sigma\alpha$ -активность	Бк/дм ³	0,2**	0,01
^{60}Co	Бк/кг	40,0**	0,1
^{90}Sr	Бк/кг	4,9**	0,2
^{134}Cs	Бк/кг	11,0**	0,1
^{137}Cs	Бк/кг	11,0**	0,1

Примечание: * – ПДК (предельно допустимая концентрация), ** – УВ (уровень вмешательства).

Результаты мониторинга подземных вод в зоне влияния ПХ РАО ЭИ-2 в 2016–2017 гг.:

1. Уровень подземных вод в КНС условно выделенной зоны влияния ПХ РАО ЭИ-2 (КНС № 12/І, 49/ІІ, 13/ІІ, 48/І, 14/ІІ) стабилен в пределах сезонных колебаний и составляет величину 96–103 м относительно уровня Балтийского моря (УБМ), что соответствует ~22–29 м относительно уровня поверхности вблизи ПХ РАО. Динамика мониторинга уровня подземных вод в КНС условно выделенной зоны влияния ПХ РАО ЭИ-2 приведена на рис. 7.

2. Результаты измерений мощности дозы (далее МД) гамма-излучения сухой части стволов скважин методом гамма-каротажа с дискретностью 1 м не выявили аномальных всплесков и положительной динамики роста МД (в пределах погрешности измерений) в период после создания ПХ РАО ЭИ-2 (рис. 8).

3. Результаты химического анализа и анализа содержания радионуклидов в 2016–2017 гг. показали следующее:

- в КНС зоны влияния ПК особых РАО ЭИ-2 (КНС № 12/І, 49/ІІ, 13/ІІ, 48/І, 14/ІІ) превышения ПДК по содержанию основных макрокомпонентов не наблюдается;
- макрохимический состав подземных вод близок к фоновым показателям;
- $\Sigma\beta$ -активность и $\Sigma\alpha$ -активность в пробах воды из указанных скважин не превышают фоновых значений для района ПХ РАО ЭИ-2;
- значения удельной активности детектируемых техногенных радионуклидов (см. табл. 1) в пробах воды указанных скважин ниже пределов обнаружения;
- аномальных всплесков в динамике исследуемых показателей состояния подземных вод в зоне влияния ПХ РАО ЭИ-2 в 2016–2017 гг. не зафиксировано.

Основной целью радиационного обследования территории и грунтов в районе ПХ РАО ЭИ-2 является получение информации о радиационной обстановке на момент проведения обследования на поверхности защитного экрана и прилегающей территории. Состав работ при радиационном обследовании:

- картографирование распределения радиационных характеристик альфа-, бета- и гамма-излучений на поверхности защитного экрана и прилегающей территории;
- отбор проб грунта с защитного экрана и прилегающей территории ПХ РАО;
- γ -спектрометрический анализ проб грунта.

Результаты радиационного обследования показали следующее:

- значения потоков α - и β -излучения над самим сооружением (на поверхности защитного экрана) и на остальной части прилегающей территории не превышают минимально детектируемых значений: $< 0,1$ частиц/(см²·мин) и < 5 частиц/(см²·мин) соответственно;

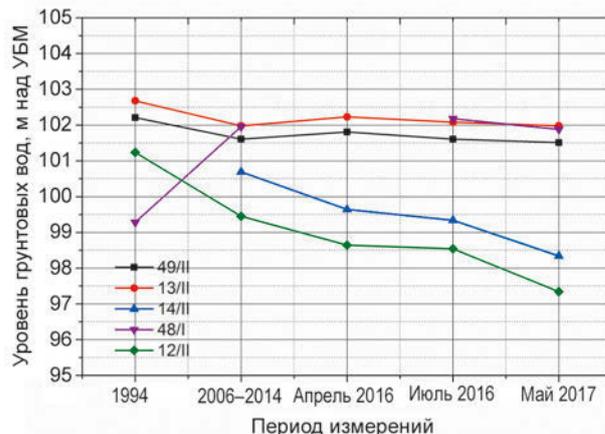


Рис. 7. Динамика мониторинга уровня подземных вод в КНС условно выделенной зоны влияния ПХ РАО ЭИ-2 (УБМ – уровень Балтийского моря)

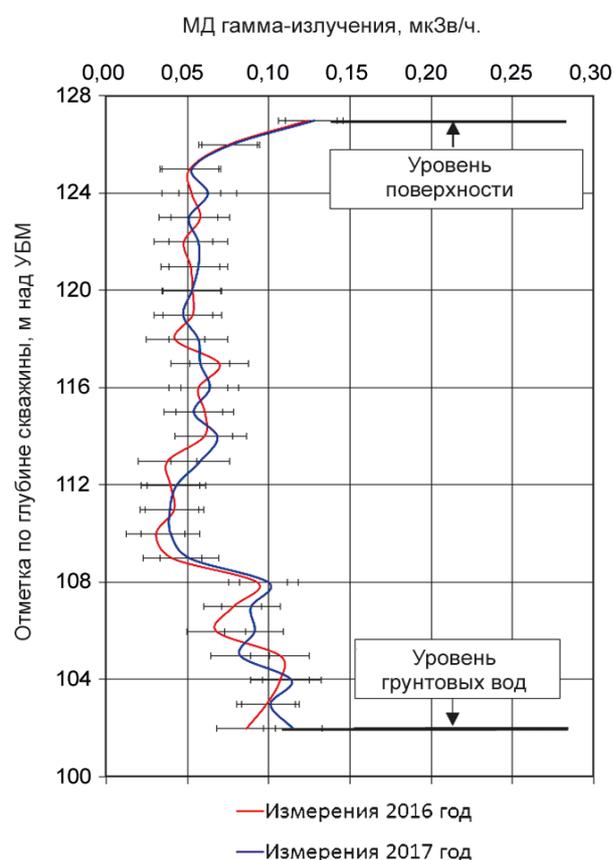


Рис. 8. Кривая гамма-сканирования скважины КНС № 13/II в зоне влияния ПХ РАО ЭИ-2 АО «ОДЦ УГР» (УБМ – уровень Балтийского моря)

- МД γ -излучения над самим сооружением (на поверхности защитного экрана) и на остальной части прилегающей территории не превышает 0,2 мкЗв/ч;
- спектрометрический анализ приповерхностных проб грунта показал, что в пробах грунта содержится ¹³⁷Cs в незначительном количестве – 3–15 Бк/кг (ниже МЗУА), что ниже среднего уровня загрязнения по площадке № 2 АО «ОДЦ УГР».

Обращение с особыми РАО

Контроль температуры графитовой кладки показал, что температура графитовой кладки стабильна независимо от времени года и составляет величину $(12 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Перспективы развития системы мониторинга ПХ РАО ЭИ-2

Обеспечение долговременной безопасности созданного пункта хранения РАО возможно при условии сохранения свойств и параметров системы естественных и инженерных барьеров, определяющих надежность изоляции радионуклидов. Подтверждение стабильности системы барьеров может быть обеспечено контролем состояния инженерных барьеров и радиационно-экологического состояния природного барьера.

Для решения этой задачи в 2015 г. в рамках Государственного контракта от 20.02.2015 № Н.4д.21.2.1.15.1003 были разработаны и испытаны методы и оборудование (рис. 9) для контроля ряда параметров инженерных барьеров безопасности через инспекционные каналы ПХ РАО ЭИ-2 с применением нейтрон-нейтронного и нейтрон-гамма каротажа (табл. 2).

При выборе оптимальных методов контроля и элементов измерительного комплекса учитывалось также присутствие радиоактивных материалов в объекте [10].

Определение влагосодержания барьерного материала проводилось с применением измерительного комплекса нейтрон-гамма каротажа через инспекционный канал ИК № 2, установленный в технологической шахте ШТ-2. Было показано, что влагосодержание барьерного материала около инспекционного канала составляет величину не более 4% масс. (табл. 3).

Таблица 2. Основные характеристики системы контроля для определения водосодержания и образования пустот в ПХ РАО ЭИ-2

Параметр	Определение водосодержания	Определение пустот
Метод измерений	Нейтронный гамма-каротаж	Нейтрон-нейтронный каротаж
Тип нейтронного источника	Импульсный генератор нейтронов МФНГ-601	^{252}Cf
Тип детектора	$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO)	Счетчик нейтронов
Эффективность (диапазон) измерений	от 2 до 100 %	Толщина пустого слоя не менее 0,15 м (может быть изменена)
Неопределенность измерений	40%	–
Глубина зондирования, м	до 40	
Температура эксплуатации, $^\circ\text{C}$	от +5 до +35	

Таблица 3. Результаты проведения нейтронного гамма-каротажа через инспекционный канал № 2, расположенный в ШТ-2 ЭИ-2

Точка контроля	Глубина, м	Материал вокруг скважины	Влагосодержание, % масс.
1	24,50	Барьерный материал	2,26
2	23,80	Барьерный материал	3,29
3	23,10	Барьерный материал	3,63
...
33	2,10	Барьерный материал	3,76
34	1,40	Барьерный материал	3,67
35	0,70	Барьерный материал	3,81



Рис. 9. Процесс сборки, настройки измерительного комплекса нейтрон-гамма каротажа (слева); проведение нейтрон-гамма каротажа через инспекционный канал на ПХ РАО ЭИ-2 (в центре); проведение нейтрон-нейтронного каротажа через инспекционный канал на ПХ РАО ЭИ-2 (справа)

Устройство для проведения нейтрон-нейтронного каротажа было разработано на базе программно-аналитического комплекса сканирования канальных объектов, в зонд которого был вмонтирован источник быстрых нейтронов ^{252}Cf . Нейтрон-нейтронный каротаж выполнялся на всех трех инспекционных каналах. По данным каротажа сделан вывод об отсутствии существенных аномалий распределения плотности в слое барьерного материала и отсутствии пустот по высоте ПХ РАО ЭИ-2.

Таким образом, полученные результаты испытаний показали, что разработанные методы контроля параметров барьерного материала и оборудование могут применяться для мониторинга ПХ РАО ЭИ-2 после разработки методической базы и ее метрологической аттестации. Результаты мониторинга этих параметров позволяют обнаруживать изменения состояния барьерного материала и своевременно реагировать на них.

Помимо контроля состояния инженерных барьеров безопасности через инспекционные каналы ПХ РАО ЭИ-2 с применением нейтрон-нейтронного и нейтрон-гамма каротажа, АО «ОДЦ УГР» планирует организовать проведение следующих видов мониторинга объекта:

- контроль состояния защитного экрана визуальным осмотром и георадарными исследованиями;
- контроль положения (нивелировка) строительных конструкций шахты реактора и металлоконструкций реактора путем создания системы неподвижных реперов и деформационных марок;
- контроль уровня грунтовых вод в дренажной системе здания, их радионуклидного и химического состава с помощью визуально-измерительного контроля колодцев дренажной системы и радиохимического анализа проб воды.

Для корректной оценки влияния ПХ РАО ЭИ-2 на радиационное состояние площадки его размещения планируется комплексное исследование исходного радиационного и химического состояния грунтов и подземных вод. Результаты инженерно-экологической съемки площадки размещения объекта позволят уточнить требования к составу и объему контролируемых параметров и методам их измерения.

Заключение

Созданный ПХ РАО ЭИ-2 является в настоящее время единственным объектом для экспериментального подтверждения критериев и численных значений параметров безопасности, обоснованных в ходе научных исследований и заложенных в проект ВЭ по варианту «Захоронение на месте». Это определяет необходимость организации комплексной системы мониторинга состояния системы барьеров ПХ РАО и его

влияния на объекты окружающей среды путем ведения систематического контроля ряда ключевых параметров.

В 2016 г. проведено заключительное инженерное и радиационное обследование пункта хранения РАО, созданного в результате реализации проекта ВЭ ПУГР ЭИ-2. По результатам обследования подтверждено соответствие конечного состояния ПХ РАО ЭИ-2 проекту ВЭ.

Результаты проведения мониторинга в 2016—2017 гг. показали отсутствие статистически значимого влияния ПХ РАО ЭИ-2 на величину и динамику контролируемых показателей.

Литература

1. Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.decomatom.org.ru/documents/concept_rosatom_rus.pdf.
2. Патент 2580819 Российская Федерация. Способ вывода из эксплуатации уран-графитового ядерного реактора / А. М. Изместьев, Е. В. Захарова, А. О. Павлюк, С. Г. Котляревский, Е. В. Беспала; заявитель и патентообладатель — АО «ОДЦ УГР». № 2015105922; заявл. 21.02.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
3. *Izmestiev A., Pavliuk A., Kotlyarevsky S. Application of void-free filling technology for additional safety barriers creation during uranium-graphite reactors decommissioning // Advanced Materials Research. 2015. V. 1084. Pp. 613—619.*
4. *Изместьев А. М. Опыт работы АО «ОДЦ УГР» по выводу из эксплуатации уран-графитовых реакторов : Презентация на «Атомэкспо-2015» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://2015.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/materials/6/Izmestiev.pdf>.*
5. Патент РФ 2580817 С1 Российская Федерация. Способ бесполостного заполнения реакторных пространств при выводе из эксплуатации уран-графитового ядерного реактора / А. М. Изместьев, Е. С. Падерин, А. Н. Непомнящий, А. О. Павлюк, С. Г. Котляревский, Е. В. Беспала, В. А. Кузов; заявитель и патентообладатель: АО «ОДЦ УГР». № 2015112186/07; заявл. 05.04.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
6. Патент РФ 2625329 С1 Российская Федерация. Способ формирования барьеров безопасности при создании пункта захоронения особых радиоактивных отходов / Е. С. Падерин, А. О. Павлюк, А. А. Шешин, В. Н. Писарев, А. Н. Непомнящий, Е. В. Беспала, С. Г. Котляревский; заявитель и патентообладатель: АО «ОДЦ УГР». — № 2016123456; заявл. 15.06.2016; опубл. 13.07.2017, Бюл. № 20.
7. *Талицкая А. В., Захарова Е. В., Андрищенко Н. Д., Бочкарев В. В. Оценка долговременной безопасности объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов, создаваемого при выводе из эксплуатации промышленного*

уран-графитового реактора // Ядерная и радиационная безопасность. 2017. № 2 (84). — Режим доступа: https://nrs-journal.ru/upload/iblock/44b/long-term_safety_assessment.pdf.

8. Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения: НП-091-14: утв. Ростехнадзором 20 мая 2014 г. : введ. с 16 декабря 2014 г. — М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ».

9. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования

безопасности: НП-055-14: утв. Ростехнадзором 22 августа 2014 г.: введ. с 14 февраля 2015 г. — М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ».

10. Патент РФ 2579822 С1 Российская Федерация. Способ контроля стабильности внутренних барьеров безопасности в пункте консервации уран-графитового реактора / А. О. Павлюк, Е. В. Беспала, А. М. Измestьев, С. Г. Котляревский, С. Н. Текутьев, А. М. Михайлец; заявитель и патенто-обладатель: АО «ОДЦ УГР». — № 2015103823; заявл. 05.02.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

Сведения об авторах

Павлюк Александр Олегович, кандидат физико-математических наук, руководитель группы, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск Томской обл., Автодорога 13, здание 179), e-mail: seversknet@rambler.ru.

Котляревский Сергей Геннадьевич, ведущий инженер, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск Томской обл., Автодорога 13, здание 179), e-mail: info@dnrc.ru.

Марков Сергей Анатольевич, главный инженер, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск Томской обл., Автодорога 13, здание 179), e-mail: info@dnrc.ru.

Шатров Михаил Васильевич, руководитель группы, АО «ОДЦ УГР» (636000, г. Северск Томской обл., Автодорога 13, здание 179), e-mail: info@dnrc.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Павлюк А. О., Котляревский С. Г., Марков С. А., Шатров М. В. Организация и результаты мониторинга пункта хранения радиоактивных отходов, созданного при выводе из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ-2 // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 3 (4). — С. 69—77.

MONITORING OF RW STORAGE FACILITY BUILT AS A RESULT OF EI-2 URANIUM-GRAPHITE REACTOR DECOMMISSIONING

Pavliuk A. O., Kotlyarevskiy S. G., Markov S. A., Shatrov M. V.

**“Pilot & Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Nuclear Reactors”,
JSC, Seversk, Tomsk region, Russia**

Article received 5 June 2018

In 2015 under the Federal Target Program “Ensuring nuclear and radiation safety for 2008 and for the period up to 2015” there was a decommissioning of EI-2 PUGR by “in situ entombment” method completed at site No.2 of “PDC UGR”, JSC. The result of those efforts is EI-2 Radioactive Waste Storage Facility (EI-2 RW SF).

EI-2 is a production uranium-graphite nuclear reactor, which was located at a site of “PDC UGR”, JSC. EI-2 was commissioned in 1958, shut down on December 28, 1990. Total operation time is 33 years. There is a system of engineering safety barriers created during construction of the storage facility. Experiments and predictive estimates demonstrated reliable isolation of radionuclides inside the EI-2 storage facility by the system of natural (enclosing rocks) and engineering barriers. And the radioactive impact on the public and the environment is predicted to be much lower than the norm.

EI-2 PUGR decommissioning by the “in situ entombment” method is a pilot project, so it is necessary to verify the safety of the chosen decommissioning method by assessing the EI-2 storage facility impact on the public and the environment. For that purpose “PDC UGR”, JSC, is monitoring a range of key EI-2 RW SF parameters and is improving its monitoring system.

Keywords: decommissioning, production uranium-graphite reactor, monitoring, safety barriers, barrier material, RW storage facility.

References

1. *Koncepciya vyvoda iz ehkspluatsii yadernyh ustanovok, radiacionnyh istochnikov i punktov hraneniya*. Available at: http://www.decomatom.org.ru/documents/concept_rosatom_rus.pdf.
2. Izmet'ev A.M., Zaharova E.V., Pavlyuk A.O., Kotlyarevskij S.G., Bepala E.V. *Sposob vyvoda iz ehkspluatsii uran-grafitovogo yadernogo reaktora*. Patent RF no. 2580819, 2016.
3. Izmetiev A., Pavliuk A., Kotlyarevsky S. Application of void-free filling technology for additional safety barriers creation during uranium-graphite reactors decommissioning. *Advanced Materials Research*, 2015, vol. 1084, pp. 613–619.
4. Izmet'ev A. M. *Opyt raboty AO "ODC UGR" po vyvodu iz ehkspluatsii uran-grafitovyh reaktorov*. Prezentaciya na "Atomexpo-2015" Available at: <http://2015.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/materials/6/Izmetiev.pdf>.
5. Izmet'ev A.M., Paderin E. S., Nepomnyashchij A.N., Pavlyuk A.O., Kotlyarevskij S. G., Bepala E. V., Kuzov V. A *Sposob bespolostnogo zapolneniya reaktornyh prostranstv pri vyvode iz ehkspluatsii uran-grafitovogo yadernogo reaktora*. Patent RF, no. 2580817, 2016.
6. Paderin E. S., Pavlyuk A. O., Sheshin A. A., Pisarev V. N., Nepomnyashchij A. N., Bepala E. V., Kotlyarevskij S. G. *Sposob formirovaniya bar'erov bezopasnosti pri sozdanii punkta zahoroneniya osobyh radioaktivnyh othodov*. Patent RF no. 2625329, 2017.
7. Talickaya A. V., Zaharova E. V., Andryushchenko N. D., Bochkarev V. V. Ocenka dolgovremennoj bezopasnosti ob'ekta okonchatel'noj izolyatsii radioaktivnyh othodov, sozdavaemogo pri vyvode iz ehkspluatsii promyshlennogo uran-grafitovogo reaktora. *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost'*, 2017, no. 2 (84). — Available at: https://nrs-journal.ru/upload/iblock/44b/long-term_safety_assessment.pdf.
8. *Obespechenie bezopasnosti pri vyvode iz ehkspluatsii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoj ehnergii. Obshchie polozheniya*: NP-091-14. Moscow, FBU "NTC YARB" Publ, 2014.
9. *Zahoronenie radioaktivnyh othodov. Principy, kriterii i osnovnye trebovaniya bezopasnosti*: NP-055-14 Moscow, FBU "NTC YARB" Publ., 2015.
10. Pavlyuk A.O., Bepala E.V., Izmet'ev A. M., Kotlyarevskij S.G., Tekut'ev S.N., Mihajlec A. M. *Sposob kontrolya stabil'nosti vnutrennih bar'erov bezopasnosti v punkte konservatsii uran-grafitovogo reaktora*. Patent RF, no. 2579822, 2016.

Informations about the authors

Pavliuk Alexander Olegovich, PhD, head of the group, "PDC UGR" JSC (Building 179, 13 Avtodoroga, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: seversknet@rambler.ru.

Kotlyarevskij Sergey Gennadievich, leading engineer, "PDC UGR" JSC (Building 179, 13 Avtodoroga, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: info@dnrc.ru.

Markov Sergey Anatolyevich, principal engineer, "PDC UGR" JSC (Building 179, 13 Avtodoroga, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: info@dnrc.ru.

Shatrov Mikhail Vasilyevich, head of the group, "PDC UGR" JSC (Building 179, 13 Avtodoroga, Seversk, Tomsk Region, 636000, Russia), e-mail: info@dnrc.ru.

Bibliographic description

Pavliuk A. O., Kotlyarevskiy S. G., Markov S. A., Shatrov M. V. Monitoring of RW Storage Facility Built as a Result of EI-2 Uranium-Graphite Reactor Decommissioning. *Radioactive waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 69–77. (In Russian).