

УДК 621.039

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ХРАНИЛИЩ БЕСКОНТЕЙНЕРНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

*Н.В. Чегонов<sup>1, 2\*</sup>, Е.А. Ванина<sup>1, 2</sup>, А.Ю. Кузнецов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Объединенный эколого-технологический  
и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды»,  
Москва, 119121, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва, 115409, Россия

\*e-mail: [NVChegonov@radon.ru](mailto:NVChegonov@radon.ru)

Поступила в редакцию: 27.04.2024

После доработки: 03.05.2024

Принята к публикации: 14.05.2024

В статье представлены возможные способы извлечения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения из хранилищ бесконтейнерного хранения, размещенных в пунктах хранения радиоактивных отходов ФГУП «РАДОН», обозначены проблемные моменты, сопутствующие решению данной задачи. Показаны важность и актуальность рассматриваемой темы в рамках реализации программы реабилитации объектов «ядерного наследия» при отсутствии опыта извлечения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения из хранилищ подобного типа в современных условиях. Приведено краткое описание и имеющиеся конструктивные особенности хранилищ бесконтейнерного хранения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения, размещенных на территории пунктов хранения радиоактивных отходов. Представлены сведения о проведенных и планируемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, направленных на реализацию способов извлечения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения из хранилищ бесконтейнерного хранения. Описано практическое применение способов извлечения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения из хранилищ бесконтейнерного хранения в рамках реализации проектов вывода из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов. Сделаны выводы о перспективах, получаемых при реализации представленных способов извлечения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения из хранилищ бесконтейнерного хранения.

*Ключевые слова:* вывод из эксплуатации, пункты хранения радиоактивных отходов, хранилища бесконтейнерного хранения, отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения.

DOI: [10.26583/vestnik.2024.325](https://doi.org/10.26583/vestnik.2024.325)

VA1NBQ

### ВВЕДЕНИЕ

В состав Федерального государственного унитарного предприятия «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» (далее – ФГУП «РАДОН») входят пункты хранения радиоактивных отходов (далее – ПХ РАО), расположенные в 18 регионах Российской Федерации. ПХ РАО были введены в эксплуатацию в 60–70 гг. XX в. Их назначение – хранение РАО, отработавших закрытых источников ионизирующего излучения, образующихся в результате производственной деятельности предприятий и организаций.

В настоящее время в рамках реализации программы реабилитации объектов «ядерного наследия» производится подготовка и вывод из эксплуатации (далее – ВЭ) пунктов хранения РАО, включающие извлечение РАО из хранилищ, демонтаж оборудования, дезактивацию зданий и сооружений для перевода этих объектов в радиационно-безопасное состояние<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>НП-091-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения». М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2014. 15 с.

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ХРАНИЛИЩ БЕСКОНТЕЙНЕРНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

При проектировании ПХ РАО вопрос вывода их из эксплуатации не рассматривался, в проектной документации отсутствуют решения по демонтажу оборудования и выводу объектов из эксплуатации. Таким образом, разработка инновационных, экономичных и безопасных технологий ВЭ является одним из приоритетных направлений научных исследований [1].

В состав ПХ РАО ФГУП «РАДОН» входят хранилища бесконтейнерного хранения (далее – ХБХ), которые в соответствии с типовыми проектами были предназначены для размещения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения (далее – ОЗИИИ). Извлечение ОЗИИИ из ХБХ в проектной документации также не предусматривалось. Актами первичной регистрации ОЗИИИ, размещенные в ХБХ, признаны удаляемыми РАО<sup>3,4</sup>. Опыт извлечения РАО из хранилищ подобного типа в современных условиях отсутствует.

Комплексное решение вопроса вывода из эксплуатации ПХ РАО, включающих ХБХ, тесно связано с безопасным обращением с извлекаемыми радиоактивными отходами и ОЗИИИ, причем обеспечение радиационной безопасности является важнейшим условием реализации проекта ВЭ.

Полученные в ходе проведения работ по извлечению ОЗИИИ из ХБХ теоретические и практические наработки будут использованы при планировании и выполнении мероприятий по ВЭ аналогичных хранилищ в будущем.

### КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ХБХ ОЗИИИ

В настоящий момент в отделениях и филиалах ФГУП «РАДОН» эксплуатируется 44 ХБХ

<sup>2</sup>НП-097-16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов». М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016. 17 с.

<sup>3</sup>Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (с изменениями и дополнениями).

<sup>4</sup>Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).

ОЗИИИ, сооруженных по типовым проектам ТП-416, ТП-6069. В этих хранилищах размещено около 250000 шт. ОЗИИИ, максимальная суммарная активность одного хранилища по учетным данным составляет  $9.51 \cdot 10^{15}$  Бк. В 25 хранилищах ОЗИИИ включены в металлическую матрицу (сплав Вуда) путем послойного омоноличивания.

Хранилища, находящиеся в составе ПХ РАО, представляют собой заглубленные бетонные колодцы, которые имеют различные характеристики. Отличия заключаются в основном в диаметрах колодцев (от 0.5 до 1.3 м), их глубине расположения ниже уровня земли (от 3 до 10 м), а также в размерах приемных емкостей, размещенных внутри колодцев. Основные конструктивные элементы, входящие в состав ХБХ, как правило, не отличаются.

Стенки колодцев хранилищ выполнены из сборной железобетонной трубы повышенной прочности, установленной на бетонное основание. В верхней части каждого хранилища смонтирована железобетонная площадка для размещения контейнера с донной разгрузкой. В соответствии с проектной документацией внутренний объем колодцев хранилищ должен быть заполнен песком, однако, по предварительным данным, полученным в ходе анализа эксплуатационной документации, отдельные колодцы на площадках отделений заполнены бетоном. Актуализировать данные по актуальному состоянию конструкций ХБХ планируется в ходе проведения комплексного инженерно-радиационного обследования (далее – КИРО).

Разрез ХБХ в одном из вариантов исполнения показан на рис. 1.

Внутри колодца установлена приемная емкость, представляющая собой цилиндр из нержавеющей стали, соединенный с приемной воронкой загрузочной трубой змеевикового типа. Верхняя плоскость размещения емкостей находится на различной глубине – от 1.5 до 7.5 м от поверхности земли. Емкости имеют различную высоту и диаметр. В большей части хранилищ емкости располагаются в одном экзепляре, непосредственно на бетонном основании колодца. ХБХ Благовещенского отделения имеет конструктивную особенность, которая состоит в том, что внутри колодца находятся три емкости для хранения ОЗИИИ, две из которых представляют собой эллиптические цилиндры, размещенные на глубине от 4.5 до 6 м, а третья – цилиндр, размещенный на глубине от 7.5 до 9 м, при глубине колодца 10 м.

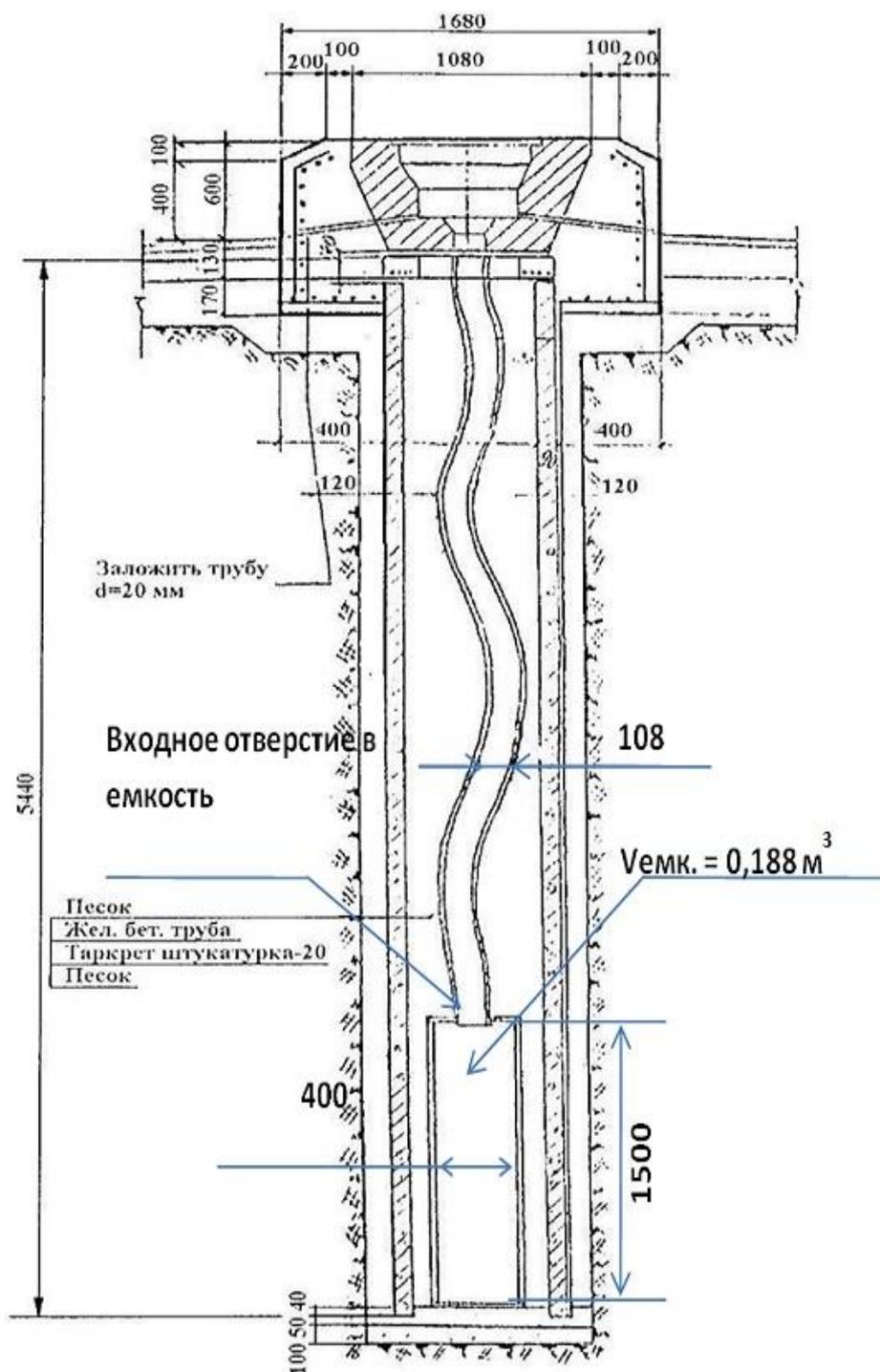


Рис. 1. Разрез хранилища ОЗИИИ

### СПОСОБЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОЗИИИ ИЗ ХБХ

Во ФГУП «РАДОН» подготовкой и ВЭ объектов «ядерного наследия» занимается блок по выводу из эксплуатации. В ближайших по времени проектах планируется ВЭ ПХ РАО Благовещенского отделения Приволжского филиала,

Уральского филиала, Самарского отделения филиала «Приволжский территориальный округ», Волгоградского отделения филиала «Южный территориальный округ» ФГУП «РАДОН». Во всех перечисленных ПХ РАО присутствуют ХБХ ОЗИИИ.

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ХРАНИЛИЩ БЕСКОНТЕЙНЕРНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

В ходе проработки технологических решений по реализации проекта ВЭ для данных хранилищ определены два перспективных подхода к извлечению ОЗИИИ из хранилищ:

1) извлечение ОЗИИИ вместе с приемной емкостью целиком в рамках реализации проекта ВЭ ПХ РАО;

2) поштучное извлечение ОЗИИИ при помощи манипуляционной роботизированной системы (далее – МРС).

В настоящее время для реализации описанных подходов по извлечению ОЗИИИ из ХБХ имеются проблемные вопросы:

1. Отсутствуют критерии приемлемости для захоронения и пункты захоронения ОЗИИИ (отложенный этап переработки/кондиционирования ОЗИИИ);

2. Отсутствует апробированная технология извлечения емкостей ХБХ;

3. Отсутствует сертифицированный контейнер для транспортирования, временного хранения и захоронения приемных емкостей с ОЗИИИ;

4. Отсутствует апробированная на практике технология поштучного извлечения ОЗИИИ при помощи МРС.

### СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОЗИИИ ВМЕСТЕ С ПРИЕМНОЙ ЕМКОСТЬЮ ЦЕЛИКОМ

На примере ХБХ Благовещенского отделения рассмотрим технологические решения по извлечению ОЗИИИ вместе с приемной емкостью целиком в рамках работ по ВЭ ПХ РАО.

В настоящий момент в двух емкостях ХБХ Благовещенского отделения размещено порядка 24000 шт. ОЗИИИ. В ходе анализа характеристик ОЗИИИ, размещенных в приемных емкостях, установлено, что в СГУК РВ и РАО значения суммарной активности по состоянию на декабрь 2023 г. учтены согласно паспортным данным на источники на момент их размещения в хранилища и составляют  $1.56 \cdot 10^{15}$  Бк для ХБХ № 1 и  $2.89 \cdot 10^{13}$  для ХБХ № 2.

В 2016 г. в Благовещенском отделении была проведена научно-исследовательская работа (далее – НИР) «Разработка и обоснование безопасного метода извлечения приемных емкостей-хранилищ бесконтейнерного типа, включая разработку технических условий на изготовление транспортно-упаковочного комплекта (далее – ТУК) и технологической оснастки».

В ходе проведения данной НИР была обоснована безопасность извлечения приемных ем-

костей ХБХ Благовещенского отделения, разработаны отчет по обоснованию радиационной безопасности по извлечению ОЗИИИ, технологический регламент безопасного извлечения емкостей с ОЗИИИ, а также технические условия на изготовление ТУК и технологической оснастки.

Емкости с ОЗИИИ предполагалось извлекать при помощи специально разработанного приспособления для захвата и подъема, удалив загрузочные гнезда и каналы, а также песчаную засыпку из колодцев. Извлеченные емкости в соответствии с технологическим регламентом должны были помещаться в ТУК, установленный сверху на опорную площадку хранилища, после чего ТУК перемещался краном в контейнер типа КМЗ. Разрезы приспособления для захвата и подъема емкости и ТУК показаны на рис. 2,а и 2,б.

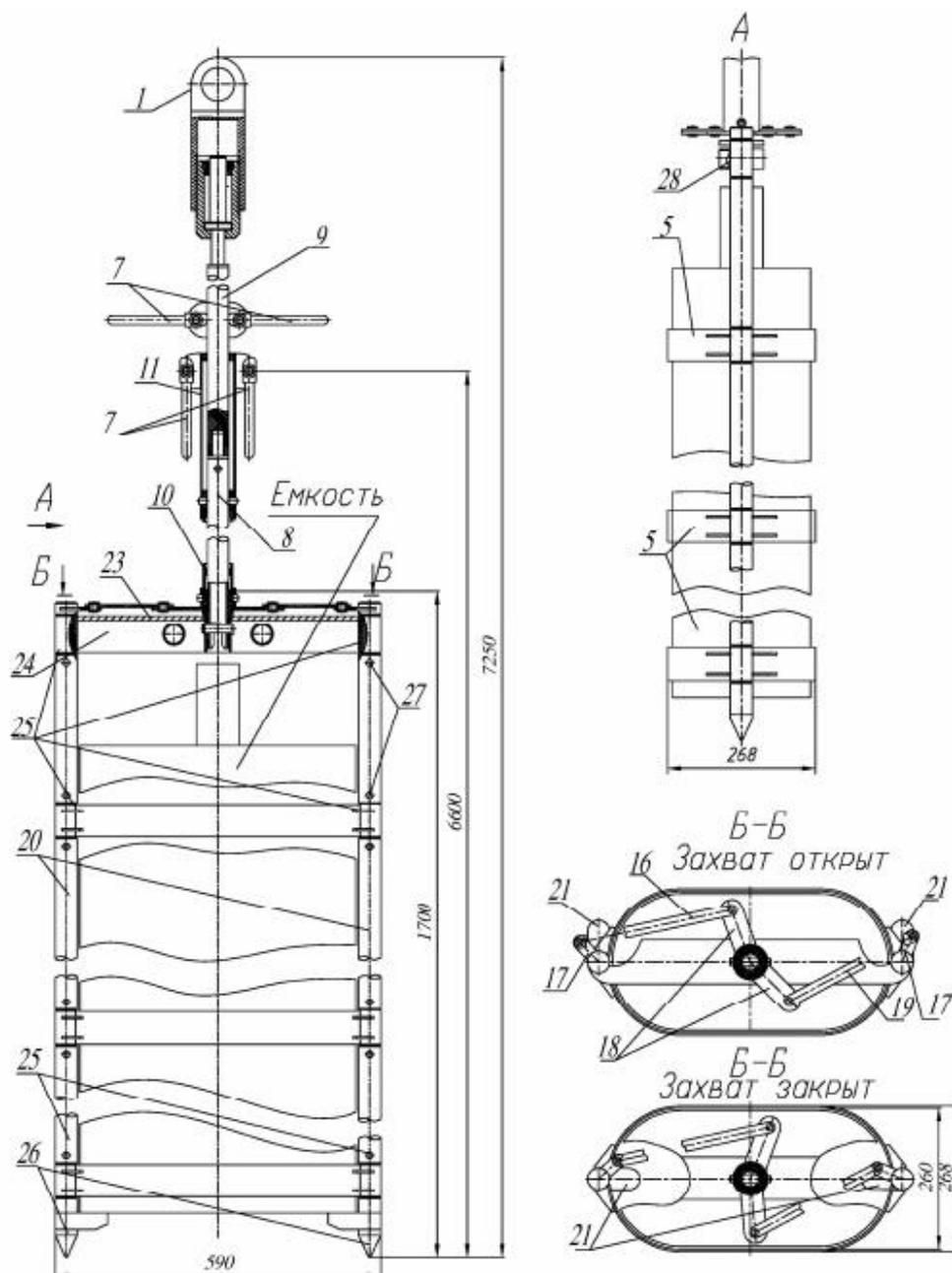
Следует отметить, что выявленные различия в суммарной активности согласно учетных данных и расчетных значений существенно влияют на формирование технических условий для разработки ТУК и, как следствие, влекут за собой увеличение затрат на изготовление, а также увеличенные массо-габаритные характеристики для контейнера с ОЗИИИ, имеющими суммарную активность на два порядка выше расчетной. Согласно рассчитанным в ходе НИР оценочным значениям, суммарная активность емкостей с ОЗИИИ Благовещенского отделения, по состоянию на 2016 г. составляла  $1.77 \cdot 10^{13}$  Бк для ХБХ № 1 и  $3.3 \cdot 10^{13}$  Бк для ХБХ № 2. Кроме того в ХБХ № 1 размещены источники нейтронного излучения с выходом нейтронов порядка  $4 \cdot 10^8$  нейтр/с.

Также следует учитывать, что, исходя из истории эксплуатации объекта и результатов проведенной НИР, имеются сведения о наличии в ХБХ № 1 источников нейтронного излучения. С целью подтверждения данной информации были проведены измерения с помощью прибора ДКС-96 с блоком для измерения нейтронного излучения, мощность дозы нейтронного излучения составила 0.28 мкЗв/ч. Более точные результаты по радионуклидному составу в ХБХ № 1 будут получены при проведении КИРО. Результаты проведенной НИР на практике не применялись, прототип контейнера для извлекаемых емкостей с ОЗИИИ не изготавливался, испытания и сертификацию не проходил, однако описанные наработки дали возможность рассматривать данную технологию как один из возможных способов извлечения ОЗИИИ из

хранилищ. В ходе анализа технических характеристик хранилищ колодезного типа установлено, что максимальные размеры приемных емкостей хранилищ ОЗИИИ составляют 2 м в высоту и 0.5 м в диаметре.

Эти данные, а также данные по радионуклидному составу в хранилищах с ОЗИИИ, были использованы при анализе номенклатурной линейки сертифицированных контейнеров для РАО, для их возможного применения в целях обращения с извлекаемыми ОЗИИИ. Кон-

тейнеров с заданными характеристиками, пригодных для транспортирования, временного хранения и захоронения емкостей с ОЗИИИ, на настоящий момент не найдено. Таким образом, для транспортирования, временного хранения и захоронения емкостей с ОЗИИИ ХБХ необходимо разработать контейнер, также необходимо разработать технологию безопасного извлечения приемных емкостей ХБХ и размещение их в контейнере.



**Рис. 2,а.** Разрез приспособления для захвата и подъема емкости: 1 – петля; 2 – гайка; 3 – втулка; 4 – упор; 5 – хомут; 6 – шпилька; 7 – ручка; 8 – тяга; 9 – вставка; 10 – труба; 11 – втулка; 12 – направляющая; 13 – втулка; 14 – втулка; 15 – ось; 16 – рычаг; 17 – рычаг; 18 – рычаг; 19 – рычаг; 20 – стойка; 21 – захват; 22 – штифт; 23 – пластина; 24 – ребро; 25 – втулка; 26 – наконечник; 27 – штифт; 28 – втулка

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ИЗ ХРАНИЛИЩ БЕСКОНТЕЙНЕРНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

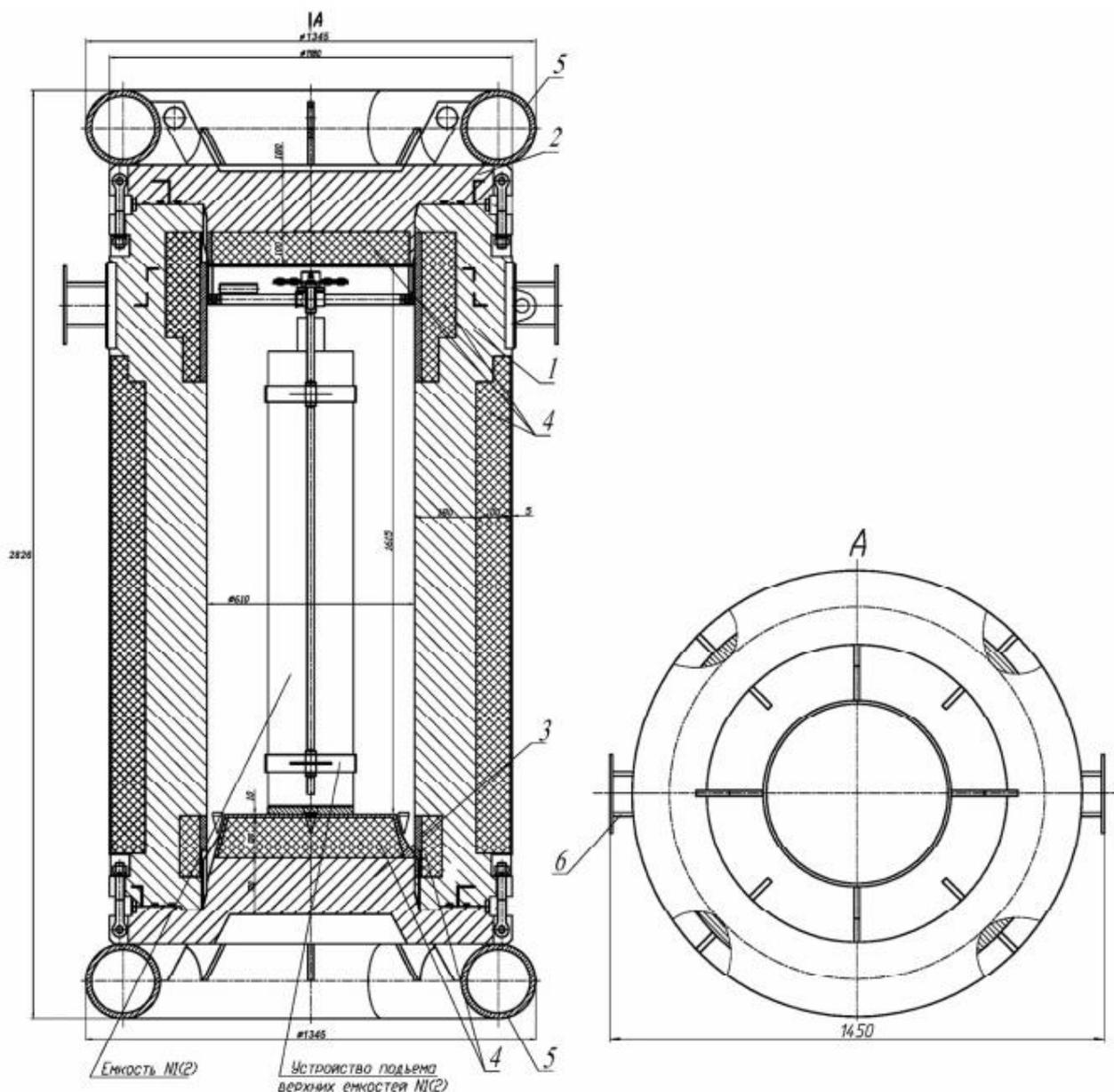


Рис. 2,б. Разрез ТУК: 1 – корпус; 2 – крышка верхняя; 3 – крышка нижняя; 4 – защита нейтронная; 5 – амортизатор; 6 – цапфа

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОЗИИИ  
ПРИ ПОМОЩИ МРС

Современные знания о робототехнических системах, работающих в высоких полях ионизирующих излучений, позволяют констатировать возможность создания МРС для извлечения ОЗИИИ из ХБХ, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в которых может оставлять 1.5–2 Зв/ч [2]. Основой МРС является роботизированная «рука-захват» и система машинного зрения, позволяющая при удаленном управлении последовательно извлекать ОЗИИИ, с даль-

нейшим их размещением в сертифицированном контейнере.

В результате выполнения комплекса НИОКР необходимо разработать опытно-промышленный образец МРС, на модельных образцах проверить эффективность роботизированной «руки-захвата», установить производительность МРС, разработать и апробировать технологию извлечения ОЗИИИ на реальном хранилище колодезного типа.

К плюсам применения технологии последовательного извлечения ОЗИИИ можно отнести: отсутствие необходимости вскрывать хранили-

ще, возможность многократного использования МРС на хранилищах других объектов, снижение риска переоблучения персонала.

Слабыми сторонами технологии с использованием МРС являются: возможное невысокое время эксплуатации системы машинного зрения в высоких полях гамма-излучения, отсутствие данных о производительности системы, довольно высокая стоимость создания опытно-промышленного образца.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вывод из эксплуатации объектов «ядерного наследия» является достаточно сложным и длительным комплексом мероприятий, направленным на приведение ЯРОО к характеристикам, отвечающим требованиям руководящих документов, позволяющим в будущем использовать площадки данных объектов для нужд промышленности [3].

Несомненно, при решении задач ВЭ возникают сложности, связанные с отсутствием технической и эксплуатационной практик по выполнению того или иного вида работ, проектных решений по ВЭ элементов ЯРОО, квалифицированного персонала, в связи с новизной прово-

димых работ и т.п. Для решения задач ВЭ объектов ядерного наследия проводится постоянная кропотливая работа сотрудников организаций атомной отрасли, отвечающих за планирование и реализацию мероприятий ВЭ ЯРОО. После решения задач по извлечению ОЗИИИ из ХБХ будет осуществлен ВЭ ПХ РАО, в которых имеются данные хранилища.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диордий М.Н., Чабанюк А.И. Практический опыт ФГУП «РАДОН» по выводу из эксплуатации ЯРОО и реабилитации территории // Радиоактивные отходы, 2020. № 2 (11). С. 25–35.
2. Спасский Б.А., Попов А.В., Даляев И.Ю. Применение средств робототехники при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии: текущее состояние и перспективы развития // Робототехника и техническая кибернетика. Т. 10. № 4. Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК, 2022. С. 246–254.
3. Основные практические работы по ликвидации ядерного наследия в 2022 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://xn---btb4bfrm9d.xn--p1ai/society/news/osnovnye-prakticheskie-raboty-po-likvidatsii-yadernogo-naslediya-v-2022-godu/> (дата обращения: 18.04.2024).

## EXTRACTION OF SPENT SEALED SOURCES OF IONIZING RADIATION FROM CONTAINERLESS OBJECT STORAGE STORAGE NUCLEAR LEGACY

*N.V. Chegonov<sup>1,2\*</sup>, E.A. Vanina<sup>1,2</sup>, A.Yu. Kuznetsov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Federal State Unitary Enterprise «United Ecological Scientific and Research Centre of decontamination of Radioactive Waste and Environmental Protection», Moscow, 119121, Russia*

<sup>2</sup>*National Research Nuclear University MEPHI, Moscow, 115409, Russia*

*\*e-mail: NVChegonov@radon.ru*

Received April 27, 2024; revised May 3, 2024; accepted May 14, 2024

The article presents possible methods for extracting spent sealed sources of ionizing radiation from non-container storage facilities located at radioactive waste storage facilities of the Federal State Unitary Enterprise «RADON», and identifies problematic issues associated with solving this problem. The importance and relevance of the topic under consideration is shown within the framework of the implementation of the program for the rehabilitation of «nuclear heritage» objects in the absence of experience in removing spent sealed sources of ionizing radiation from storage facilities of this type in modern conditions. A brief description and existing design features of containerless storage facilities for spent sealed sources of ionizing radiation located on the territory of radioactive waste storage facilities are provided. Information is presented on completed and planned research and development work aimed at implementing methods for extracting spent sealed sources of ionizing radiation from containerless storage facilities. The practical application of methods for retrieving spent sealed sources of ionizing radiation from containerless storage facilities within the framework of the implementation of projects for the decommissioning of radioac-

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ХРАНИЛИЩ БЕСКОНТЕЙНЕРНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

tive waste storage facilities is described. Conclusions are drawn about the prospects obtained by implementing the presented methods for extracting spent sealed sources of ionizing radiation from containerless storage facilities.

*Keywords:* decommissioning, radioactive waste storage facilities, containerless storage facilities, spent sealed sources of ionizing radiation.

### REFERENCES

1. *Diordij M.N., CHabanyuk A.I.* Prakticheskij opyt FGUP «RADON» po vyvodu iz ekspluatatsii YAROO i reabilitatsii territorii [Practical experience of FSUE «RADON» in decommissioning nuclear hazardous waste and rehabilitating the territory]. *Radioaktivnye otdohy*, 2020. No. 2 (11). Pp. 25–35 (in Russian).

2. *Spasskij B.A. Popov A.V., Dalyaev I.Yu.* Primenenie sredstv robototekhniki pri vyvode iz ekspluatatsii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoj energii: tekushchee sostoyanie i perspektivy razvitiya [Application of robot-

ics during decommissioning of nuclear energy facilities: current status and development prospects]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*. Vol. 10. No 4. Saint Petersburg, CNII RTK Publ., 2022. Pp. 246–254 (in Russian).

3. *Osnovnye prakticheskie raboty po likvidatsii yadernogo naslediya v 2022 godu.* [Basic practical work to eliminate the nuclear legacy in 2022]. Available at: <https://xn---btb4bfrm9d.xn--p1ai/society/news/osnovnye-prakticheskie-raboty-po-likvidatsii-yadernogo-naslediya-v-2022-godu/> (accessed 18.04.2024).