

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

<https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-07>

EDN JGDJMD

Обзорная статья / Review



Извлечение твердых радиоактивных отходов из хранилищ
при их консервации способом битумирования

Н.В. Чегонов^{1,2}  , Е.А. Ванина^{1,2}, В.В. Шилков¹, М.Е. Иванов¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» (ФГУП «РАДОН»),
г. Москва, Российская Федерация

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва, Российская Федерация
 NVChegonov@radon.ru

Аннотация. В рамках проведения работ по подготовке к выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии первым наиболее длительным и экономически затратным пунктом в составе выполняемых мероприятий является удаление накопленных эксплуатационных радиоактивных отходов (отработавшего ядерного топлива, радиоактивных веществ, ядерных материалов) с производственных площадок выводимых из эксплуатации объектов. Данное мероприятие сопряжено с решением вопросов по определению безопасной технологии и разработке проектов производства работ по извлечению эксплуатационных отходов из хранилищ, помещений, технологического оборудования объектов использования атомной энергии. Одной из частных задач по подготовке хранилищ ФГУП «РАДОН» к выводу из эксплуатации является удаление накопленных радиоактивных отходов из хранилищ, которые при консервации были залиты расплавленным битумом. Сложность задачи состоит в том, что в настоящее время отсутствует разработанная и апробированная технология по отделению битумной составляющей непосредственно от отходов, с дальнейшим удалением отходов из хранилища. Приводятся возможные способы обращения с битумированными радиоактивными отходами, размещенными в хранилище, находящемся в пункте хранения радиоактивных отходов Нижегородского отделения ФГУП «РАДОН», обозначаются преимущества и недостатки каждого из описываемых способов, проблемные вопросы, сопутствующие решению данной задачи. Актуальность рассматриваемой темы в рамках реализации программы реабилитации объектов «ядерного наследия» заключается в получении опыта по проектированию, разработке безопасных методов и практическому решению задач по извлечению битумированных твердых радиоактивных отходов из хранилищ подобного типа в современных условиях. Делается вывод о необходимости проведения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы для разработки технологии извлечения битумированных твердых радиоактивных отходов из хранилища.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, пункты хранения радиоактивных отходов, хранилища радиоактивных отходов, битумированные радиоактивные отходы, способы обращения с битумированными отходами.

Для цитирования: Чегонов Н.В., Ванина Е.А., Шилков В.В., Иванов М.Е. Извлечение твердых радиоактивных отходов из хранилищ при их консервации способом битумирования. *Глобальная ядерная безопасность*. 2025;15(2):64–75. <https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-07>

For citation: Chegonov N.V., Vanina E.A., Shilkov V.V., Ivanov M.E. Extraction of solid radioactive waste from storage facilities during their preservation by bitumen treatment. *Nuclear Safety*. 2025;15(2):64–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-07>

Extraction of solid radioactive waste from storage facilities during their preservation by bitumen treatment

Nikolay V. Chegonov^{1,2}  , Elena A. Vanina^{1,2}, Vyacheslav V. Shilkov¹, Mikhail E. Ivanov¹

¹Federal State Unitary Enterprise «United Ecological, Technological and Scientific Research Center for Radioactive Waste Disposal and Environmental Protection» (FSUE «RADON»), Moscow, Russian Federation

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russian Federation

 NVChegonov@radon.ru

Annotation. As part of the work to prepare for the decommissioning of nuclear energy facilities, the first, most time-consuming and economically costly item in the scope of the measures being carried out is the removal of accumulated radioactive waste (spent nuclear fuel, radioactive substances, nuclear materials) from the production sites of decommissioned facilities. This event is associated with solving issues related to the definition of safe technology and the development of projects for the extraction of waste from storage facilities, premises, and technological equipment for nuclear energy facilities. One of the particular tasks of preparing RADON's storage facilities for decommissioning is the removal of accumulated radioactive waste from storage facilities that were filled with molten bitumen during conservation. The complexity of the task lies in the fact that currently there is no developed and tested technology for separating the bitumen component directly from waste, with further waste disposal from storage. Possible methods of handling bituminous radioactive waste located in a storage facility located at the nuclear waste storage facility of the Nizhny Novgorod branch of FSUE RADON are presented, the advantages and disadvantages of each of the described methods, and problematic issues related to solving this problem are outlined. The relevance of the topic under consideration in the framework of the program for the rehabilitation of "nuclear heritage" facilities is to gain experience in designing, developing safe methods and practical solutions for the extraction of bitumen solid radioactive waste from storage facilities of this type in modern conditions. It is concluded that it is necessary to carry out research and development work to develop a technology for the extraction of bitumen solid radioactive waste.

Keywords: decommissioning, radioactive waste storage facilities, bituminous radioactive waste, methods of handling bitumen waste.

Введение

В состав ФГУП «РАДОН» входят пункты хранения радиоактивных отходов (ПХ РАО), расположенные в 18 регионах РФ. ПХ РАО были введены в эксплуатацию в 60-70 годах XX века. Их функциональное назначение – хранение РАО, образующихся в результате производственной деятельности предприятий и организаций [1]. В настоящее время в рамках реализации программы реабилитации объектов «ядерного наследия» производится подготовка и вывод из эксплуатации (ВЭ) пунктов хранения РАО, включающие извлечение РАО из хранилищ, демонтаж оборудования, дезактивацию зданий и сооружений для перевода этих объектов в радиационно-безопасное состояние^{1,2}.

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 прикладных научных исследований [2].

В состав ПХ РАО Нижегородского отделения ФГУП «РАДОН» входит хранилище, которое перед консервацией в 1980 году было залито расплавленным битумом сверху размещенных в нем твердых РАО. Первоначально предполагалось, что хранилище станет пунктом захоронения РАО, извлечение РАО из хранилища в

¹ Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения. НП-091-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – Москва: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2014. 15 с. – Режим доступа: <https://docs.secnrs.ru/documents/nps/НП-091-14/НП-091-14.pdf> (дата обращения: 14.03.2025).

² Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов. НП-097-16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Москва: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016. 17 с. – Режим доступа: <https://docs.secnrs.ru/documents/nps/НП-097-16/НП-097-16.pdf> (дата обращения: 14.03.2025).

проектной документации не предусматривалось. Но, в соответствии с актами первичной регистрации, РАО, размещенные в хранилище, признаны удаляемыми^{3,4}. Однако, стоит заметить, что опыта извлечения битумированных РАО из хранилищ подобного типа в современной практике не имеется.

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

Полученные наработки в ходе проведения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР), имеющей целью разработку технологии извлечения из хранилища и приведения таких РАО к критериям приемлемости для захоронения, а также практических работ по извлечению битумированных РАО, будут использованы при планировании и выполнении мероприятий по ВЭ аналогичных хранилищ в будущем.

Краткая информация о хранилище с битумированными РАО

В настоящий момент в Нижегородском отделении ФГУП «РАДОН» эксплуатируется типовое хранилище твердых РАО, построенное по проекту ТП-4891 и введенное в эксплуатацию в 1963 году. Хранилище представляет собой приповерхностную железобетонную емкость, состоящую из двух отсеков. Отличительной особенностью данного

хранилища является тот факт, что после его заполнения твердыми РАО хранилище было законсервировано путем залива в него горячего битума, с последующим перекрытием железобетонными плитами, гидроизоляцией и покрытием асфальтом толщиной до 70 см.

В 2012-2013 гг. был выполнен ремонт участков конструкций стен и плит перекрытия хранилища ТРО с устройством инженерного защитного и противофильтрационного барьера из полимерного материала «Техполимер» по подстилающему слою песка – 50 мм, покрывающих слоев из песчано-гравийной смеси толщиной 500 мм и асфальтобетона – 50 мм. Защитные барьеры должны исключить разрушения, связанные с проникновением человека и подземных животных, а также корней растений. На рисунке 1 показан схематичный план и разрез хранилища после проведения ремонта.

Актуализировать данные по состоянию конструкций и содержимого хранилища РАО планируется в ходе проведения НИОКР, планируемой для выбора и обоснования безопасной технологии извлечения РАО. Данная работа планируется к проведению в ходе подготовительных мероприятий к выводу из эксплуатации данного хранилища. Результатом выполнения НИОКР станет обоснованный с точки зрения радиационной безопасности и экономической целесообразности проект производства работ по удалению отходов из рассматриваемого хранилища.

³ 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. Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069. Москва, 2012. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70247038/> (дата обращения: 14.03.2025).

⁴ Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ. – Москва, 2011. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12187848/> (дата обращения: 14.03.2025).

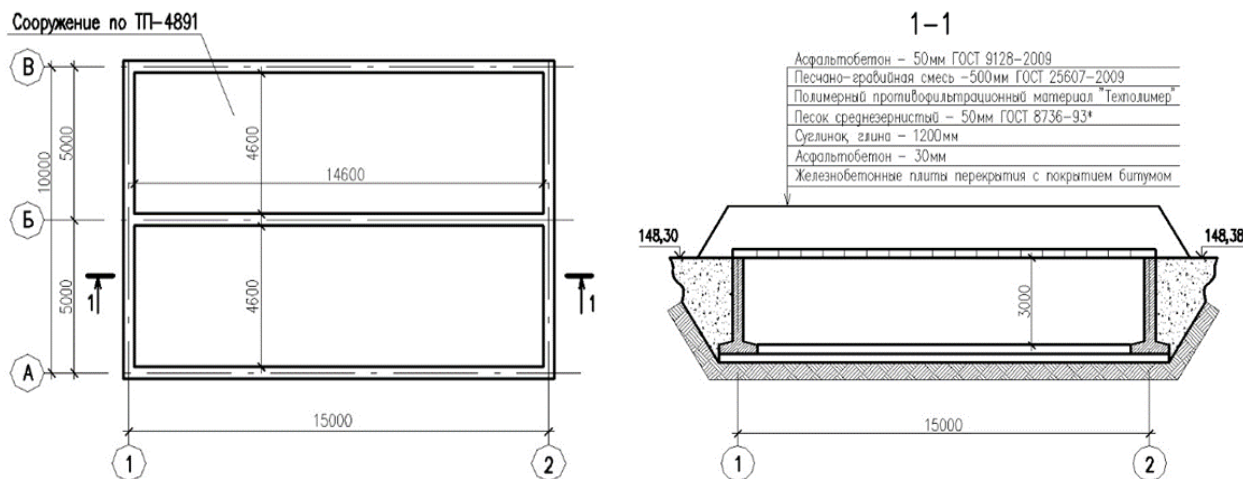


Рисунок 1. Схематичный план и разрез хранилища после проведения ремонта

Figure 1. Schematic layout and section of the storage facility after repair

Технологии по удалению битумированных РАО

В настоящее время не существует апробированной технологии по удалению твердых РАО из хранилищ, которые были залиты битумным компаундом. Процесс битумирования РАО в основном применяется для локализации сухих остатков солевых концентратов, образующихся при выпаривании жидких радиоактивных отходов (ЖРО), полученных в качестве отходов с атомных станций.

Процесс битумирования ЖРО был разработан и стал применяться в 60-х гг. XX века в странах, имеющих в эксплуатации атомные электростанции: Франции, Бельгии, Германии, СССР, Великобритании, Японии. Технологически он состоит из следующих операций: упаривание ЖРО до получения солевых концентратов, последующее смешивание образовавшихся солей с расплавленным битумом, выгрузка полученного битумного компаунда в специальный контейнер или его перегонка в битумохранилище по обогреваемому трубопроводу [3].

В нашем же случае имеет место быть совершенно иной способ локализации РАО, предположительной целью которого было обезопасить будущие поколения от воздействия радиации. Проанализировав существующие в настоящее время технологии обращения с битумосодержащими компаундами, можно выделить как минимум

три варианта их удаления из хранилища:

- нагрев с последующим отделением битумной составляющей от РАО;
- замораживание, разрушение и дальнейшая механическая переработка и размельчение полученных фракций;
- растворение битума органическими составами.

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из вариантов.

Наименее энергозатратным, экономически целесообразным и технически проработанным способом удаления битума является его нагрев. При температуре порядка 150°C битум начинает переходить в жидкую форму, вследствие чего возможно его удаление [4-6].

Изобретение [4] относится к атомной энергетике, а именно к области обращения с битумированными продуктами переработки жидких радиоактивных отходов, и может быть использовано для извлечения битумных компаундов из хранилищ. Устройство для сверхвысокочастотного разогрева и извлечения радиоактивного битумного компаунда из хранилища включает электрическое нагревательное устройство, откачивающий насос с направляющей металлической трубой и газоотводящий клапан.

Электрическое нагревательное устройство выполнено в виде жестко закрепленного на боковой поверхности верхней части направ-

ляющей металлической трубы не менее чем одного полого волновода с присоединенным к нему магнетроном и закрепленного на нижнем торце волновода соосно направляющей металлической трубе двухрупорного излучателя. Излучатель состоит из соосно расположенных относительно друг друга внутреннего рупорного излучателя и внешнего рупорного излучателя, при этом высота внешнего рупорного излучателя должна быть больше высоты внутреннего рупорного

излучателя на величину, кратную четверти длины сверхвысокочастотной волны. Изобретение обеспечивает снижение энергетических затрат и упрощение эксплуатации и дезактивации устройства, а также исключение возгорания битумного компаунда.

Схема изобретения «Устройство для сверхвысокочастотного разогрева и извлечения из хранилища радиоактивного битумного компаунда» показана на рисунке 2.

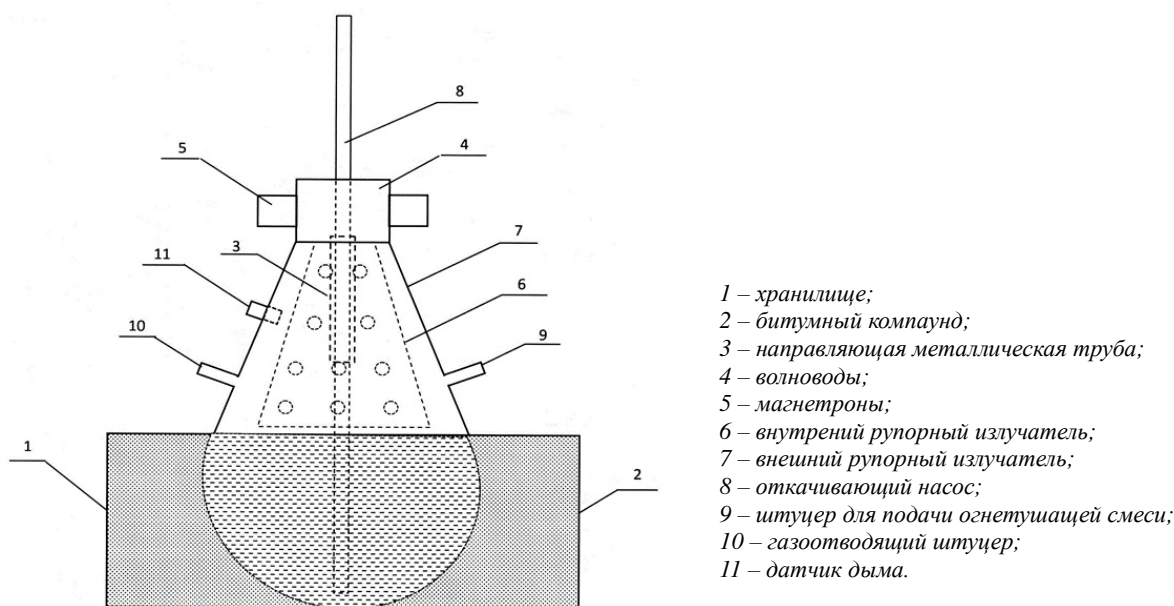


Рисунок 2. Схема устройства для сверхвысокочастотного разогрева и извлечения из хранилища радиоактивного битумного компаунда

Figure 2. Device for microwave heating and removal of radioactive bitumen compound from storage

Изобретение [5] относится к устройствам для нагрева битума и применяется, в частности, при строительстве автомобильных дорог. Техническое преимущество изобретения заключается в снижении энергетических затрат за счет динамического нагрева ограниченного объема битума. Устройство локального нагрева и забора битума из хранилища состоит из первого и второго цилиндрических нагревательных элементов с внутренними каналами, внешними и внутренними радиаторами, кожуха, закрывающего нагре-

вательные элементы, основания с плоским нагревательным элементом округлой формы, обратного клапана и патрубка битумного откачивающего насоса. Первый нагревательный элемент установлен на опорные ножки, а второй – на верхнюю часть основания. К верхней боковой части кожуха прикреплен пустотелый герметичный поплавок, а к нижней части основания – четыре ножки-катка.

Схема изобретения «Устройство локального нагрева и забора битума из хранилища» показана на рисунке 3.

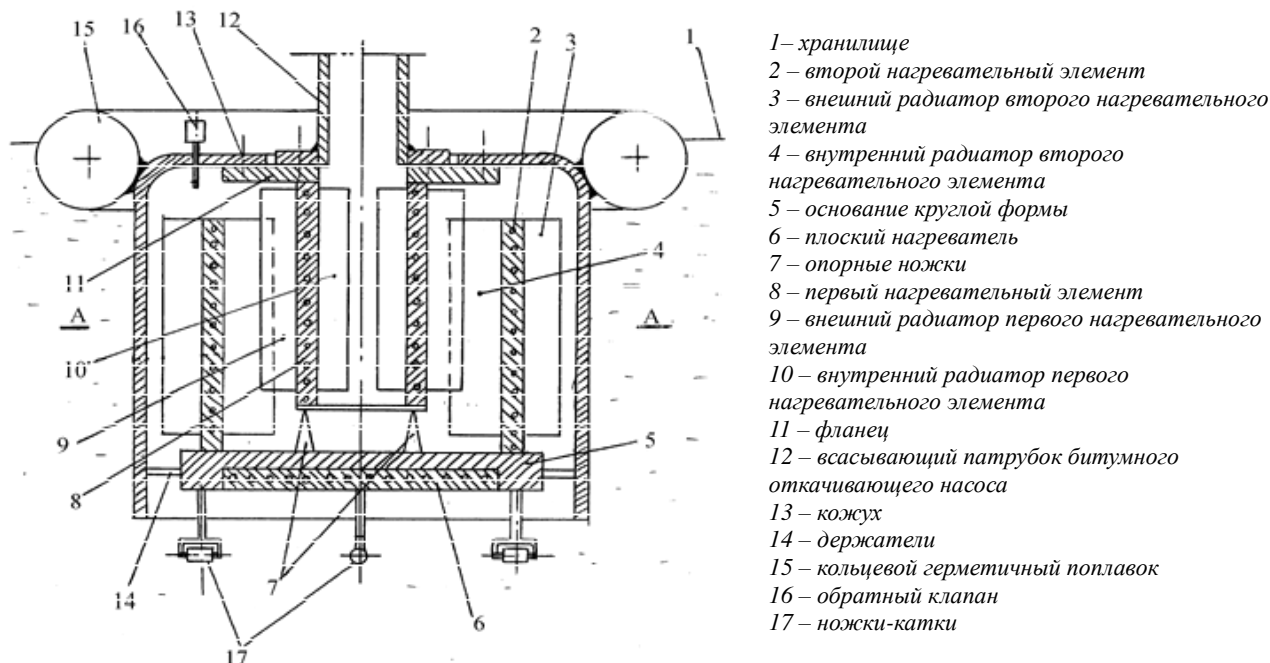


Рисунок 3. Схема устройства локального нагрева и забора битума из хранилища

Figure 3. Device for local heating and bitumen intake from storage

Изобретение [6] относится к области обращения с радиоактивными отходами. Способ извлечения радиоактивного битумного компаунда из хранилища заключается в том, что извлечение осуществляется с помощью оборудования (приспособления), имеющего температуру, превышающую температуру плавления битума, но ниже температуры вспышки, обеспечивающего локальный нагрев по границе извлекаемого фрагмента битума, приводя битумный компаунд в состояние, пригодное для его захвата и извлечения, с последующим перемещением извлекаемого фрагмента в контейнер. Изобретение позволяет осуществлять полную выгрузку радиоактивного битумного компаунда из хранилища без применения насосного и энергозатратного оборудования.

Схема изобретения «Способ извлечения радиоактивного битумного компаунда из хранилища» показана на рисунке 4.

Для достижения технического результата предлагается:

- нагревать не весь битумный компаунд хранилища, а только извлекаемый битумный фрагмент локально по его границам;
- использовать для извлечения и размягчения битумного компаунда одно и то же оборудование (приспособление), оснащён-

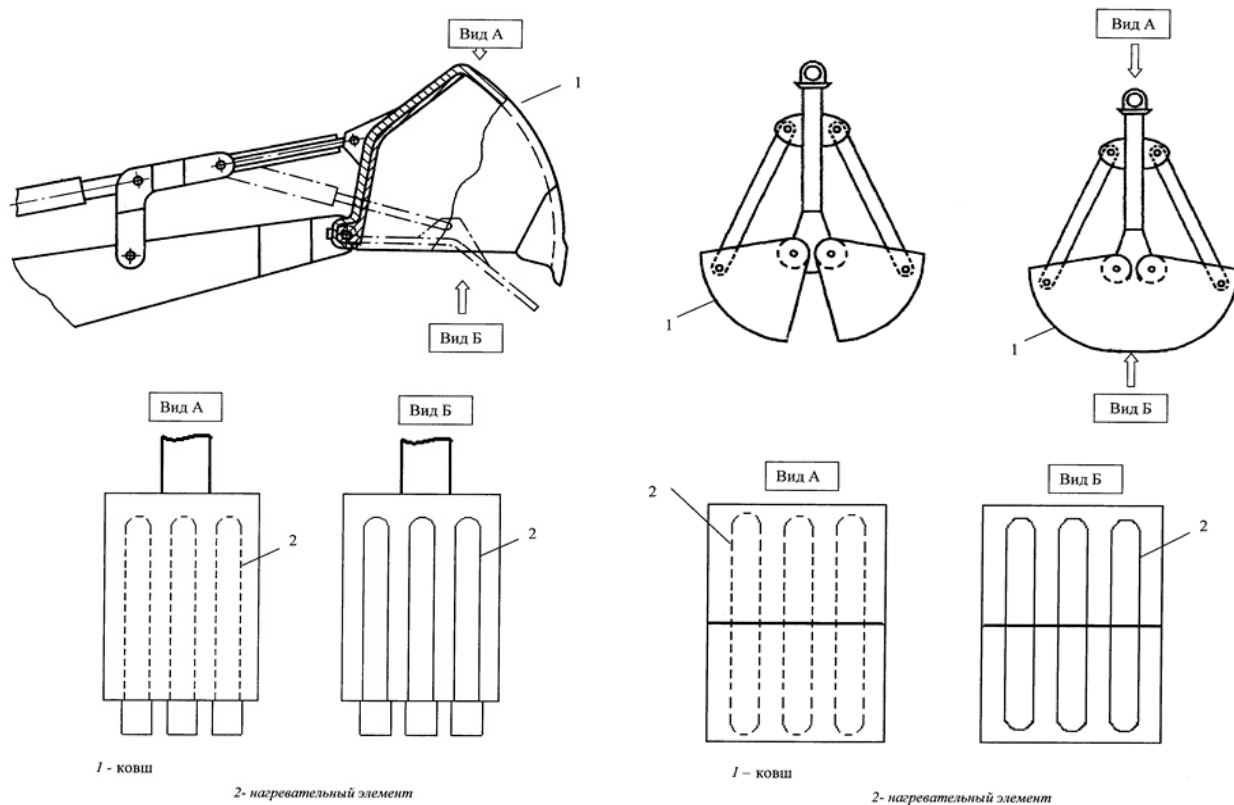
ное нагревательным элементом, который может быть расположен как с наружной, так и внутренней стороны данного оборудования (приспособления);

- использовать оборудование (приспособление), имеющее по меньшей мере один вход и один выход для подвода (отвода) теплоносителя или для подключения ТЭНов, или других нагревательных элементов;

- использовать оборудование (приспособление), корпус которого имеет гладкую поверхность, что облегчает его последующую дезактивацию.

Преимущества предлагаемого способа по сравнению с предыдущими:

- сокращение единиц оборудования и упрощение технологического решения за счет отказа от насосного и вспомогательного оборудования;
- извлечение битума, в том числе возможно содержащего инородные включения различного размера;
- снижение энергозатрат за счет нагрева битума локально по границам извлекаемого фрагмента, а не последовательного нагрева участков массива битумного компаунда;



Вариант исполнения с обычным ковшом

Вариант исполнения с грейферным гидравлическим двухчелюстным ковшом

Рисунок 4. Способ извлечения радиоактивного битумного компаунда из хранилищ**Figure 4.** Method of radioactive bitumen compound extraction from storages

— более полное извлечение битумного компаунда без «застойных зон» (углов хранилища) за счет упрощения конструкции нагревательного оборудования.

Однако, несмотря на очевидную доступность и простоту использования технологии нагрева битума, существуют и проблемные вопросы при реализации такой технологии в рассматриваемом частном случае извлечения твердых РАО из отсеков хранилища:

— при нагревании битума происходит выделение токсичных газов, необходимо применение специальной системы вентиляции;

— существует возможность возгорания, поэтому необходимо создание технологического оборудования с возможностью автоматического поддержания заданной температуры нагрева, имеющую в том числе функцию аварийного пожаротушения;

— под воздействием высоких температур имеется вероятность разгерметизации первичных упаковок твердых РАО с последующим выходом из них радиационно-опасного содержимого;

— после остывания на поверхностях хранилища и оборудовании остается налипший битум, который трудно удалить полностью.

Другим способом, подходящим для решения задачи по удалению битумированных РАО, является их замораживание. После охлаждения битума до температуры менее минус 15 °С, он становится хрупким, в результате чего возможно применение средств малой механизации либо специальной техники для выделения фрагментов битумированного содержимого с дальнейшим их извлечением из хранилища [7, 8].

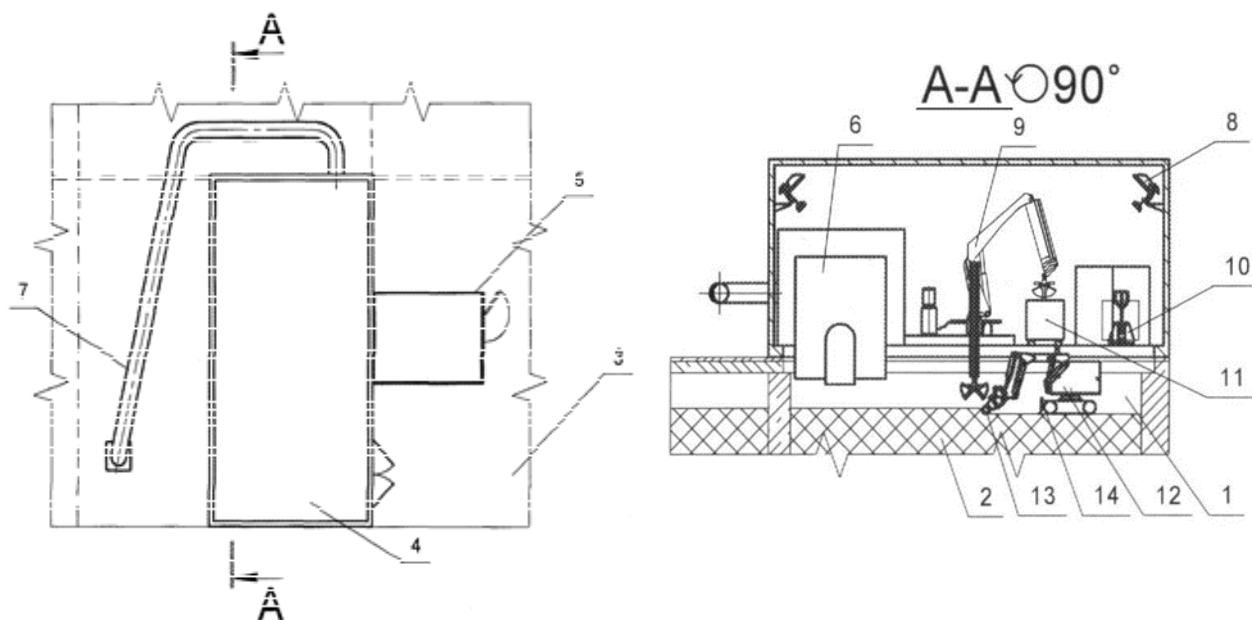
Изобретение [7] относится к способам удаления радиоактивных битумированных отходов из временных хранилищ атомных станций. Техническим преимуществом изобретения является возможность извлечения битумированного содержимого из хранилищ без применения дополнительного насосного и нагревательного оборудования.

Согласно изобретению [7], удаление битумного компаунда производится следующим образом: вскрывают ячейку битумохра-

нилища и устанавливают над ней технологическое укрытие и модуль управления, далее производится монтаж низкотемпературной холодильной установки. С помощью установки битумный компаунд охлаждают до температуры ниже минус 15 °С, после чего извлекают битумный компаунд из хранили-

ща, дробят на мелкую фракцию и загружают в сертифицированную тару.

Схема изобретения «Способ извлечения битумного компаунда из битумохранилищ атомных электростанций» показана на рисунке 5.



1 – ячейка битумохранилища; 2 – битумный компаунд; 3 – битумохранилище; 4 – технологическое укрытие; 5 – модуль управления; 6 – низкотемпературная холодильная установка; 7 – холодопровод; 8 – камеры слежения; 9 – кран-манипулятор; 10 – вилочный погрузчик; 11 – сертифицированная тара; 12 – электрогидравлическая машина; 13 – фреза; 14 – отвал

Рисунок 5. Способ извлечения битумного компаунда из битумохранилищ атомных электростанций
Figure 5. Method of extraction of bitumen compound from bitumen storages of nuclear power plants

В статье [8] приводится способ отверждения битумного компаунда с помощью автономной геотермальной системы (далее ГТС) с тепловым насосом. Основное предназначение таких систем заключается в переносе тепловой энергии от источника, имеющего изначально более низкую температуру, чем та, которая нужна потребителю. В то же время работа такой установки предполагает возможное изменение направления энергетического потока с отопления на охлаждение и наоборот.

ГТС с тепловым насосом позволяет генерировать большую часть требуемого тепла (или холода) за счет возобновляемых и не затратных источников энергии – тепла земли, выбрасываемого на улицу теплого воздуха, нагретого в помещениях, отводимого водяного пара, грунтовых и технологических вод. При этом производители гарантируют срок службы подобных систем не менее чем 50 лет.

Схема установки ГТС с тепловым насосом приведена на рисунке 6.

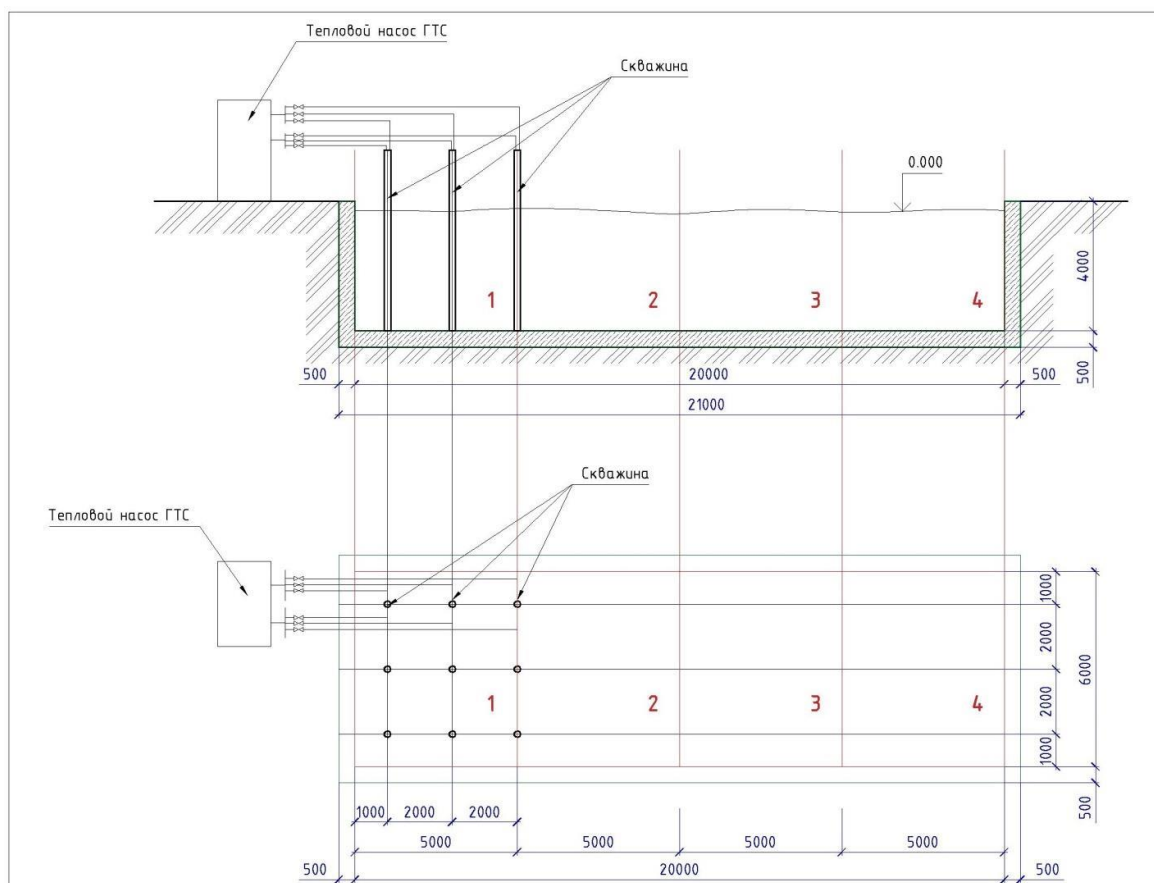


Рисунок 6. Схема установки ГТС с тепловым насосом
Figure 6. Layout of hydraulic facility with heat pump

Плюсами данной технологии является возможность реверса тепловой системы: она способна работать как в режиме нагрева, так и на охлаждение. Нагрев в этом случае необходим в основном для прокладывания трубной системы теплоносителя, но также может быть применен, например, для обогрева ангара, в котором расположено хранилище. Также к плюсам можно отнести отсутствие газовыделения при замораживании.

Стоит отметить минусы, существующие при реализации технологии замораживания:

- при выделении фрагментов отвержденного замораживанием битумированного содержимого происходит значительное увеличение объемов образующихся РАО, также возможно повреждение первичных упаковок РАО;

- технологическое оборудование для замораживания имеет сложное устройство, требует применения токсичных сред в качестве теплоносителя (этиленгликоль, фреон и т. д.)

Третьим способом по удалению битума из

описываемого хранилища является его растворение органическими составами (Патент RU 2671243 С1. Способ переработки битумно-солевых радиоактивных компаундов [9]).

Изобретение относится к области атомной энергетики. Способ переработки битумно-солевых радиоактивных компаундов заключается в растворении битумного компонента с помощью органического растворителя из предельных углеводородов, разложении органической фазы с помощью парового риформинга (преобразования) в присутствии алюмосиликатной суспензии, выведении алюмосиликатного материала, насыщенного радионуклидами из аппарата риформинга с последующим его отверждением.

К плюсам такого способа можно отнести возможность сокращения массы и объема битумно-солевых радиоактивных компаундов для дальнейшего их захоронения.

К минусам данной технологии можно отнести ее малоизученность и отсутствие опыта использования на предприятиях атомной отрасли, а также необходимость применения

сложного технологического оборудования для нагрева битумного компаунда до высоких температур.

Выводы

В настоящее время не представляется возможным сделать окончательный выбор в пользу той или иной технологии, которая будет применена для извлечения битумированных РАО. Для получения фактических данных о состоянии хранилища и располо-

женных в нем РАО, разработки технологических операций и последующего составления проекта производства работ по извлечению РАО с дальнейшей его реализацией, требуется проведение НИОКР, в результате которой будет определена технология безопасного извлечения и приведения к критериям приемлемости для захоронения битумированных твердых РАО, размещенных в хранилище Нижегородского отделения ФГУП «РАДОН».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Чегонов Н.В., Ванина Е.А., Кузнецов А.Ю. Извлечение отработавших закрытых источников ионизирующего излучения из хранилищ бесконтейнерного хранения объектов ядерного наследия. *Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*. 2024;13(3):184–191. <https://doi.org/10.26583/vestnik.2024.325>
1. Chegonov N.V., Vanina E.A., Kuznetsov A.Yu. Extraction of spent sealed sources of ionizing radiation from containerless object storage storage nuclear legacy. *Vestnik natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI»*. 2024;13(3):184–191. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/vestnik.2024.325>
2. Диордий М.Н., Чабанюк А.И. Практический опыт ФГУП «РАДОН» по выводу из эксплуатации ЯРОО и реабилитации территории. *Радиоактивные отходы*. 2020;2(11):25–35. <https://doi.org/10.25283/2587-0707-2020-2-25-35>
2. Diordiy M.N., Chabanyuk A.I. Experience of FSUE «RADON» on decommissioning of radiation and nuclear hazardous facilities and remediation. *Radioactive waste*. 2020;2(11):25–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2587-0707-2020-2-25-35>
3. Баринов А.С., Дробышевский Н.И. Свойства битумных компаундов и требования к их захоронению. *Радиоактивные отходы*. 2019;1(6):37–45. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2017-21-2-48-59>
3. Barinov A.S., Drobyshevsky N.I. Properties of bitumen compounds and requirements for their burial. *Radioactive waste*. 2019;1(6):37–45. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2017-21-2-48-59>
4. Тишков В. Ф. Устройство для сверхвысокочастотного разогрева и извлечения из хранилища радиоактивного битумного компаунда. Патент № 2777602 С1. Российская Федерация. МПК G21F 9/34, E01C 19/08. № 2022102886. Заявлен: 07.02.2022; Опубликовано: 08.08.2022. Акционерное общество «Наука и инновации». Режим доступа: <https://rosstip.ru/patents/98778-ustrojstvo-dlya-sverkhvysokochastotnogo-razogreva-i-izvlecheniya-iz-khranilishcha-radioaktivnogo-bitumnogo-kompaunda> (дата обращения: 15.03.2025).
4. Tishkov V.F. Device for microwave heating and removal of radioactive bitumen compound from storage. Patent №. 2777602 C1. Russian Federation. IPC G21F 9/34, E01C 19/08. No. 2022102886. Announced: 07.02.2022. Published: 08.08.2022. Joint Stock Company Science and Innovation. Available at: <https://rosstip.ru/patents/98778-ustrojstvo-dlya-sverkhvysokochastotnogo-razogreva-i-izvlecheniya-iz-khranilishcha-radioaktivnogo-bitumnogo-kompaunda> (accessed: 15.03.2025).
5. Никулин Ю.Я., Кузнецов Н.В., Гутикова Л.И., Коханов А.А. Устройство локального нагрева и забора битума из хранилища. Патент № 2186169 С1. Российская Федерация. МПК E01C 19/08. № 2000130016/03. Заявлен: 30.11.2000. Опубликовано: 27.07.2002. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2186169C1_20020727 (дата обращения: 15.03.2025).
5. Nikulin Yu.Ya., Kuznetsov N.V., Gutikova L.I., Kokhanov A.A. Device for local heating and collection of bitumen from the storage. Patent №. 2186169 C1. Russian Federation. IPC E01C 19/08. No. 2000130016/03. Announced: 30.11.2000. Published: 27.07.2002. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2186169C1_20020727 (accessed: 15.03.2025).
6. Брыкин С.Н., Горбунова О.А., Гришин А. Г. [и др.] Способ извлечения радиоактивного битумного компаунда из хранилищ. Патент 2647869 С2. Российская Федерация. МПК G21F 9/34. № 2015151732. Заявлен: 03.12.2015; Опубликовано: 21.03.2018. Федеральное государственное унитарное предприятие «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (ФГУП «РосРАО»)). Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2647869C2_20180321 (дата обращения: 15.03.2025).
6. Brykin S.N., Gorbunova O.A., Grishin A.G. [and others]. Method of radioactive bitumen compound extraction from storages. Patent 2647869 C2. Russian Federation. IPC G21F 9/34. No. 2015151732. Announced: 03.12.2015; Published: 21.03.2018. Federal State Unitary Enterprise Enterprise for Radioactive Waste Management RosRAO

(FSUE RosRAO). Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2647869C2_20180321 (accessed: 15.03.2025).

7. Быстрова Е.В., Добровенко С.В., Матвиенко С.И. [и др.]. Способ извлечения битумного компаунда из битумохранилищ атомных электростанций. Патент № 2407085 C1. Российская Федерация. МПК G21F 9/34. № 2009141038/07. Заявлен: 05.11.2009. Опубликовано: 20.12.2010. Открытое акционерное общество «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега». Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2407085C1_20101220 (дата обращения: 15.03.2025).

Bystrova E.V., Dobrovenko S.V., Matvienko S.I. [et al.] Method for extraction of bitumen compound from bitumen storages of nuclear power plants. Patent 2407085 C1. Russian Federation. IPC G21F 9/34. No. 2009141038/07. Announced: 05.11.2009. Published: 20.12.2010. Open Joint Stock Company Research Design and Technological Bureau Onega. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2407085C1_20101220 (accessed: 15.03.2025).

8. Кургуз С.А. Разработка технологии для извлечения битумированных радиоактивных отходов из промежуточных хранилищ. Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2020. Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 24–25 ноября 2020 года. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. С. 301.1–301.8. Режим доступа: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Sibresource/2020/materials/pages/Articles/301.pdf> (дата обращения: 15.03.2025).

Kurguz S.A. Development of technology for extraction of bitumen radioactive waste from intermediate storages. Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresurs 2020. Collection of materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 24–25, 2020. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2020. P. 301.1–301.8. Available at: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Sibresource/2020/materials/pages/Articles/301.pdf> (accessed: 15.03.2025).

9. Рябков Д.В., Бойцова Т.А., Масанов О.Л. Способ переработки битумно-солевых радиоактивных компаундов. Патент 2671243 C1. Российская Федерация. МПК G21F 9/00. № 2017137851. Заявлен: 30.10.2017. Опубликовано: 30.10.2018. Акционерное общество «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2671243C1_20181030 (дата обращения: 15.03.2025).

Ryabkov D.V., Boytsova T.A., Masanov O.L. Method of processing bitumen-salt radioactive compounds. Patent 2671243 C1. Russian Federation. IPC G21F 9/00. No. 2017137851. Announced: 30.10.2017. Published: 30.10.2018. Joint Stock Company Radium Institute named after V.G. Khlopin. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2671243C1_20181030 (accessed: 15.03.2025).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Чегонов Н.В. – подготовка материалов статьи, описание поставленных задач, представление и анализ существующих способов решения задачи, формулирование выводов;

Ванина Е.А. – постановка задач для исследования, обсуждение материалов статьи, редактирование текста статьи;

Шилков В.В. – предоставление материалов по рассматриваемому объекту, техническое консультирование, редактирование текста статьи;

Иванов М.Е. – предоставление материалов по рассматриваемому объекту, техническое консультирование, редактирование текста статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Работа выполнена без использования внешних источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликта интересов нет.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Николай Васильевич Чегонов, руководитель проекта, ФГУП «РАДОН», г. Москва, Российская Федерация.

<https://orcid.org/0009-0005-1087-5737>

e-mail: NVChegonov@radon.ru

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Chegonov N.V. – article materials preparation, describing the tasks set, presenting and analyzing existing ways to solve the problem, formulating conclusions;

Vanina E.A. – setting tasks for research, discussing the materials of the article, editing the text of the article;

Shilkov V.V. – providing materials on the object under consideration, technical advice, editing the text of the article;

Ivanov M.E. – providing materials on the object under consideration, technical advice, editing of the text of the article.

FUNDING:

The work was carried out without using external sources of financing.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Nikolay V. Chegonov, Project Manager, FSUE «RADON», Moscow, Russian Federation.

<https://orcid.org/0009-0005-1087-5737>

e-mail: NVChegonov@radon.ru

Елена Александровна Ванина, доктор физико-математических наук, профессор, ФГУП «РАДОН», профессор НИЯУ МИФИ, г. Москва, Российская Федерация.

e-mail: EAVanina@radon.ru

Вячеслав Владимирович Шилков, главный инженер, филиал «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РАДОН», г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

e-mail: VyVShilkov@radon.ru

Михаил Евгеньевич Иванов, главный инженер, Нижегородское отделение филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РАДОН», г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

e-mail: MikhEvgIvanov@radon.ru

Elena A. Vanina, Dr. Sci. (Phys. Math.), Professor, FSUE «RADON», National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russian Federation.

e-mail: EAVanina@radon.ru

Vyacheslav V. Shilkov, Chief Engineer, Volga Territorial District Branch of FSUE «RADON», Nizhny Novgorod, Russian Federation.

e-mail: VyVShilkov@radon.ru

Mikhail E. Ivanov, Chief Engineer, Nizhny Novgorod Branch of the Volga Territorial District branch of FSUE «RADON», Nizhny Novgorod, Russian Federation.

e-mail: MikhEvgIvanov@radon.ru

Поступила в редакцию / Received 05.03.2025

После доработки / Revision 02.06.2025

Принята к публикации / Accepted 05.06.2025