

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОИСКА И ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ И ОБРАЩЕНИЮ С ОБРАЗУЮЩИМИСЯ ПРИ ЭТОМ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

А. А. Тихонова<sup>1</sup>, А. А. Самойлов<sup>2</sup>, О. А. Ильина<sup>2</sup>, А. Ю. Иванов<sup>2</sup>, С. В. Белоусов<sup>2</sup>,  
А. П. Сергунин<sup>2</sup>, Р. С. Ступин<sup>2</sup>, А. Д. Гребнева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственная корпорация «Росатом», Москва

<sup>2</sup>Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 11 октября 2022 г.

*Эффективность реализации работ по выводу из эксплуатации (ВЭ) объектов ядерного наследия напрямую зависит от применяемых технических решений для проведения дезактивационных, демонтажных работ и обращения с образующимися при этом РАО. Для ее повышения, с одной стороны, необходимо расширение практики применения цифровых и расчетных инструментов, позволяющих проводить вариантный анализ и обоснование выбора оптимальных технических решений, а с другой – создание организационных инструментов поиска и внедрения более совершенных технологий по ВЭ и обращению с РАО.*

*В статье представлены результаты выполненного анализа применяемых в России и за рубежом технологий и оборудования для выполнения работ по ВЭ. Были показаны зоны для технологического развития, в которых проведен скаутинг разработок, технологий и оборудования, позволяющих повысить эффективность выполнения основных операций ВЭ.*

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, цифровые информационные модели, вывод из эксплуатации, дезактивация, демонтаж, обращение с радиоактивными отходами, реабилитация радиационно загрязненных территорий, дистанционно управляемые устройства, автономные робототехнические средства, программное обеспечение.

Проведенный ИБРАЭ РАН анализ мероприятий по ВЭ ЯРОО в рамках федеральных целевых программ «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ЯРБ-1) и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 гг. и на период до 2035 года» (ФЦП ЯРБ-2) показал, что реализация тех или иных технических решений в рамках работ по созданию инфраструктуры заключительной стадии жизненного цикла

(ЗСЖЦ) и проектов по ВЭ зачастую основывается на сложившемся опыте проектной или эксплуатирующей организаций без рассмотрения иных вариантов, которые применяются на схожих объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) за рубежом и на предприятиях за пределами атомной отрасли.

Обзор применяемых в России и за ее пределами технологий и оборудования для выполнения работ по ВЭ ЯРОО, выполненный на основе

информационно-аналитических материалов, включающих международный опыт (более 70 источников), новейших в отечественной и зарубежной практике методов и технических решений (более 40 источников), показал зоны, в которых есть технологический разрыв и потенциал для развития.

Текущий технический уровень обеспечения в области ВЭ, обращения с РАО и реабилитации радиационно загрязненных территорий (РЗТ) базируется на присутствующем в атомной отрасли консерватизме (безусловно, части культуры безопасности), предпочтительном использовании ручного труда, в силу его невысокой стоимости, и набора относительно простых инструментов или стандартных методов, используемых на предприятии при эксплуатации ОИАЭ. Порог для входа в эту сферу деятельности новых подрядчиков и поставщиков остается высоким, в том числе ввиду отсутствия гибкости в осуществлении закупок у малых инновационных предприятий [1] и наличия требований к лицензированию деятельности и сертификации продукции и услуг в рамках отрасли. Стоимость нового оборудования оказывается слишком высокой, т. к. его покупка в современных условиях отрасли зачастую рассматривается в парадигме единоразового использования на текущем объекте ВЭ, без возможности последующего применения, продажи или аренды.

Несмотря на проводимые отраслевые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) и первые результаты создания и применения кардинально новых для отечественной практики методик: лазерной резки [2], лазерной дезактивации [3] или применения демонтажных роботов [4], их дальнейшее внедрение в проекты ВЭ происходит крайне медленно.

### Зоны технологического развития

Рассмотрим подробнее наиболее актуальные и перспективные технологии и оборудование, которые сегодня могут быть предложены по основным направлениям работ по ВЭ, обращению с РАО и реабилитации РЗТ.

#### *Приборы и инструменты для проведения комплексного инженерного радиационного обследования (КИРО)*

Основопологающей стадией всего проекта ВЭ является планирование и проведение КИРО, поэтому ошибки, возникающие на этой стадии, могут в последующем повышать риски прекращения данного процесса и необходимости изменения проектной документации уже в ходе

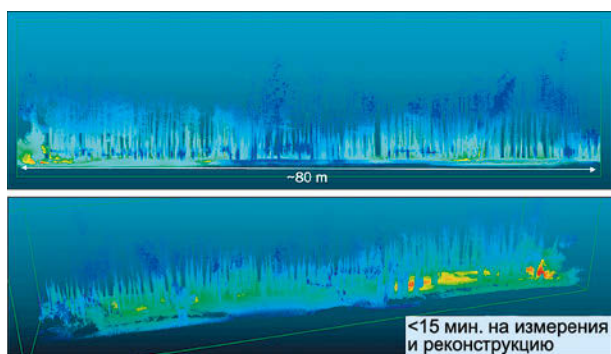
проведения практических работ, что влечет за собой увеличение расходов и срыв срока их завершения. Среди наиболее распространенных недочетов можно назвать: некорректное построение сетки измерений и выбора точек отбора проб, слишком консервативная интерпретация результатов ввиду недостаточно детализированного планирования работ, проблема рассинхронизации данных из-за отсутствия стандарта и правил описания результатов инженерного обследования. Зачастую объем измерений стараются минимизировать для снижения уровней облучения персонала, выполняющего КИРО. Необходимость уменьшения дозовых нагрузок, безусловно, является объективным фактором, но его достижение возможно не только сокращением объема исследований, но и, например, заменой пешеходной гамма-съемки на измерения с использованием роботизированных устройств (роботов с гусеничным или колесным шасси и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [5]–[7]). Это особенно актуально при ВЭ ОИАЭ, обладающих большой площадью территории и/или высокими гамма-полями и сложной архитектурой в комплексе с ограниченным доступом. Для этих же целей удобно использовать гамма-камеры для предварительного обследования или визуализации результатов оперативного радиационного контроля, а также планирования операций по перемещению персонала с целью снижения облучения (рис. 1). Это позволит предварительно оконтурить зоны повышенного загрязнения и выбрать необходимую детальность исследований в зависимости от характера и уровня загрязнения.

Дальнейшим развитием направления радиационного обследования является применение систем (комплексов) автоматического сканирования и измерения, в состав которых входит оборудование и инструменты для радиационного контроля, лазерного 3D-сканирования и навигации, размещенных на мобильной робототехнической платформе или БПЛА (табл. 1).

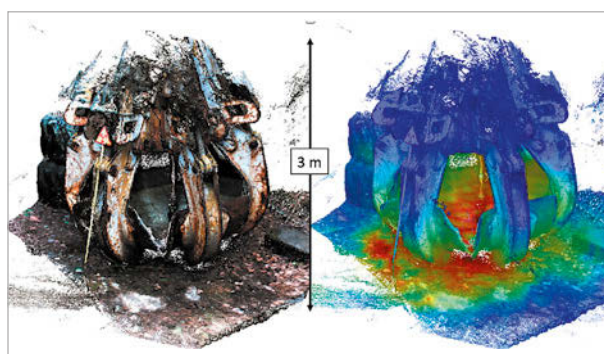
Большинство компонентов данных систем уже широко используется в различных областях промышленности (например, лазерные сканеры — для создания «цифровых двойников» существующих объектов; комплекс видеокамер, лидаров, модулей GPS/IMU — в беспилотных автомобилях; специальные робототехнические платформы — для проведения разведывательных, досмотровых, взрывотехнических операций и т. п.), и результаты их объединения и применения открывают широкие возможности для получения быстрого, качественного и объективного представления об актуальном

Таблица 1. Оборудование систем автоматического сканирования и измерения

Тип	Основные компоненты	Возможности и назначение
Оборудование и инструменты радиационного контроля	Гамма-камеры, радиометры-дозиметры, спектрометры, пробоотборники, манипуляторы и т. д.	Получение оперативных данных о радиационной обстановке и их визуализация, отбор проб, проведение измерений внутри труднодоступных мест (трещины, отверстия, выемки)
Оборудование лазерного 3D-сканирования	Лазерные сканеры (технология LIDAR)	Сканирование, обработка и составление 3D-модели объекта, в т. ч. в режиме реального времени
Навигационное оборудование	Датчики положения и ориентации (GPS/IMU) и видекамеры	Ориентация системы в пространстве: управление оператором или самостоятельное составление маршрута для движения
Платформы для размещения	Мобильные робототехнические платформы, БПЛА	Перемещение комплекса оборудования в пространстве, в т. ч. в радиационно опасных условиях, по сложному рельефу



а



б

Рис. 1. Примеры построения цифровой модели объекта измерений [5]:  
 а) лес в префектуре Фукусима, загрязненный  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ ;  
 б) грузозахватный инструмент крана в Чернобыльской зоне отчуждения, загрязненной  $^{137}\text{Cs}$

радиационном и физическом состоянии обследуемого объекта [5]–[7].

#### Дезактивация конструкций и оборудования

Дезактивация строительных конструкций и основного технологического оборудования является одним из важнейших этапов ВЭ ЯРОО, однако применяемые сегодня в России решения не в полной мере оптимизированы для задач ВЭ. Например, зачастую применяются дезактивационные составы (рецептуры), которые использовались в ходе штатной эксплуатации, хотя требования по минимизации агрессивного химического воздействия на оборудование на этапе ВЭ уже не должны выполняться. Также существует практика ориентации на уже сложившуюся схему обращения с РАО. Например, почти на всех крупных предприятиях ЯТЦ используются методы жидкостной дезактивации оборудования, что приводит к образованию довольно большого количества вторичных жидких радиоактивных отходов (ЖРО). При этом принципиальная тенденция по минимизации их образования, связанная с планируемым закрытием пунктов глубинного захоронения (ПГЗ) ЖРО [8], должна привести к переходу на безжидкостные методы дезактивации, например

дробеструйной, которая получила некоторое распространение только в последние несколько лет. Также одним из способов сокращения количества ЖРО и повышения коэффициента дезактивации является интенсификация существующих жидкостных методов при помощи ультразвука. Данная технология не нова, однако широкого распространения не получила, в основном из-за высокой стоимости оборудования и технических ограничений.

Дезактивацию напольного покрытия обычно проводят скалыванием бетона с помощью перфораторов, отбойных молотков и т. п. Этот процесс осуществляется на различную глубину, так как контролировать ее при таких методах проведения работ является невыполнимой задачей. Лишняя сколотая бетонная крошка увеличивает объемы РАО при контейнеризации. Методы шлифования покрытия с использованием специальных напольных машин позволяют персоналу проводить равномерное снятие заданного слоя, исключив при этом образование «дополнительных» объемов РАО. Также при наличии сильного радиоактивного загрязнения данный метод позволяет не смешивать разные по уровню активности отходы, т. к. покрытие снимается послойно. Помимо этого, существенными

плюсами данной технологии являются более плотная упаковка РАО и минимизация возможности вторичного радиоактивного загрязнения благодаря автоматическому сбору и первичной упаковке материала.

#### *Демонтаж и извлечение конструкций и оборудования*

При демонтаже и резке строительных конструкций и оборудования на сегодняшний день преимущественно используется ручной труд с применением крупной строительной техники на последнем этапе, в то время как дистанционно управляемые устройства для этого привлекаются крайне редко. Роботы-манипуляторы могут производить практически любые действия, которые выполняет человек, а оператор будет при этом находиться в удалении от зоны их проведения. Использование роботов будет оправдано при высоких гамма-полях или уровнях поверхностного радиоактивного загрязнения, а также при значительном объеме работ. Существенными преимуществами данного метода являются значительное снижение дозовых нагрузок на персонал, сокращение его штатной численности и возможность проведения манипуляций в более сжатые сроки.

Еще одним направлением, способным повысить эффективность проводимого демонтажа при ВЭ ЯРОО, являются системы канатной и лазерной резки (для бетона и металла, соответственно), при которых персонал не находится непосредственно в зоне производства работ. При использовании канатной резки персонал присутствует только во время установки оборудования, проходки обрабатываемой поверхности алмазными бурами (при необходимости) и запасовки каната. При лазерной резке с использованием гибких волноводов или манипуляторов можно практически полностью исключить

участие персонала (рис. 2). Также перспективно развитие дисковой резки, подходящей как для бетона, так и металла.

#### *Обращение с РАО*

Совершенствование методов и технологий обращения с РАО также может осуществляться за счет перехода на дистанционное проведение работ, копирующих движения оператора манипуляторов, например, с помощью роботизированных устройств резки, сортировки и упаковки в контейнеры, т. н. «роборуки». Повышение показателей уже используемых методов утилизации РАО возможно на месте их образования путем применения модульных установок, в т. ч. кондиционирования с переработкой ЖРО или измельчения строительных отходов с целью более эффективно заполнения полезного объема контейнера.

Перспективным направлением в обращении с РАО является более точная сортировка, позволяющая уменьшить их объемы. Линия потокового радиационного контроля и сортировки включает: мобильные спектрометрические установки, гамма-камеры для визуализации загрязнения, а также системы автоматической сортировки отходов, использующие роботы-манипуляторы, и методы радиометрии и дозиметрии в комбинации с технологиями «машинного зрения», позволяющие проводить сортировку по уровню загрязнения, радионуклидному составу, морфологии, геометрическим характеристикам и т. п.

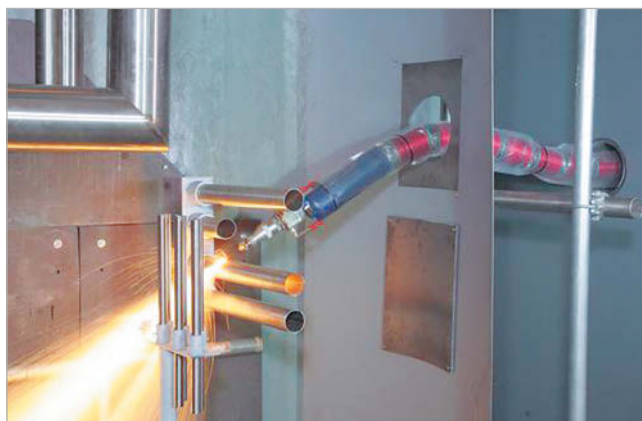
#### *Сортировка и очистка химически/радиоактивно загрязненного грунта*

Существует несколько технологий снижения объемов РАО в виде загрязненного грунта:

- механическая сортировка;
- гидросепарация (выделение целевой фракции);
- жидкостная дезактивация («отмывка», в том числе реагентная, ультразвуковая).



а



б

Рис. 2. а) лазер, смонтированный на механической руке Maestro [9]; б) процесс резки устройством LaserSnake2 [10]

В целях эффективного использования мобильных установок для дезактивации загрязненного грунта необходимо развивать направление измерительных систем для его предварительной сортировки. Чем качественнее будут произведены измерения, тем более полного и точного разделения можно достичь. Например, за рубежом используются системы измерения грунта в ковше экскаватора или его автоматическая потоковая сортировка. Подобная установка — FREMES — была недавно поставлена в АО «АЭХК» [11].

Имеется практика использования мобильных устройств дезактивации грунта (например, методом гидросепарации). Для этого выделяется фракция грунта, содержащая наибольшее количество радионуклидов (чаще наиболее мелкая), а большая его часть после проведенных измерений направляется на обратную засыпку по месту производства работ. Фракция, обогащенная радионуклидами, удаляется как РАО.

Для уменьшения объемов РАО, подлежащих захоронению, выделенную наиболее загрязненную фракцию грунта можно направить на дезактивацию с использованием реагентных составов. В некоторых случаях для отдельных типов грунтов может быть эффективным дополнительное применение ультразвуковой дезактивации.

Рассматривая три указанных выше метода обращения с радиоактивно загрязненным грунтом, отметим, что механическая сортировка (поточная или по партиям) является необходимым элементом системы обращения. Выбор же между двумя другими методами зависит от ряда факторов, и, возможно, наиболее эффективным окажется их совместное применение (дополнение гидросепарации еще ступенью очистки для отдельных фракций).

Из-за существенных отличий в физико-химических свойствах грунтов и характере загрязнения для каждой РЗТ должна разрабатываться собственная технологическая цепочка обращения, типовых решений для реабилитации нет. К основным этапам относится проведение обследования грунта для оценки объемов и уровней загрязнения, затем его сепарация и выделение РАО, которые могут быть выполнены путем конвейерной сортировки, измерения в ковше или в биг-бэге. Далее следует этап обращения с РАО непосредственно на площадке или на территории специализированного предприятия, с применением методов дезактивации для снижения их объемов, направляемых в последующем на захоронение.

## Оценка готовности технологий

Анализ перспективных технологических решений по ВЭ, обращению с РАО и реабилитации РЗТ позволяет сделать оценку уровня их технологической готовности для России по шкале TRL (Technology Readiness Level) [12] (табл. 2). По значению TRL можно разделить технологии на 3 группы:

TRL 1—3: новая научная идея, для которой требуется подтвердить реализуемость. Результат — научный принцип.

Таблица 2. Перспективные технические решения

Технология/оборудование	TRL для России	Наличие отечественных разработок и производства
Проведение КИРО		
Гамма-камеры	9	Да
Роботизированная и беспилотная техника в качестве шасси (платформы)	6	Да
Системы автоматического сканирования и измерения: гамма-камера, спектрометры, LIDAR, GPS/ГЛОНАСС, видеокамеры	Не разрабатывалось	
Дезактивация конструкций и оборудования		
Лазерная дезактивация	6	Да
Ультразвуковая дезактивация	9	Да
Шлифовальные напольные системы	Не разрабатывалось	
Дробеструйная дезактивация	9	Да, но в атомной отрасли не используется
Демонтаж и извлечение конструкций и оборудования		
Строительные монтажные роботы со специальным навесным оборудованием (фрезы, шлифовальные насадки и т. д.)	9	Да, но производство ограниченное
Системы канатной алмазной резки	9	Да, но в атомной отрасли не используется
Лазерная резка	6	Да
Обращение с РАО		
Модульные установки переработки РАО	6—9	Да
Оборудование радиационного контроля и визуализации активности в контейнере	8—9	Да, но с зарубежными детекторами
Системы автоматической потоковой сортировки РАО	3—4	Нет
Сортировка и очистка химически/радиоактивно загрязненного грунта		
Установки измерения активности и автоматической сортировки грунта	5—6	Нет
Мобильные установки дезактивации грунта	5	Да

TRL 4—6: техническая реализуемость научной идеи доказана теоретически/экспериментально, требуется создать продукт на основе технологии. Результат — технология/опытный образец.

TRL 7—9: создана базовая технология и опытные образцы продуктов, необходимо разработать и наладить производство. Результат — серийный продукт для рынка.

Необходимо отметить, что часть применяемого при ВЭ оборудования производится за рубежом и используется в России в качестве готового технического решения, поскольку аналогичное отечественное не производится или не соответствует требуемым характеристикам, в т. ч. надежности. Часть устройств и технологий активно применяется в других отраслях, и при наличии соответствующих организационных инструментов может быть осуществлен их трансфер в область ЗСЖЦ.

Приведенный в табл. 2 перечень перспективных решений представляет собой в основном высокотехнологичное оборудование, локализация производства которого в России потребует полноценного производства из отечественных комплектующих и собственной системы автоматизированного проектирования микросхем,

что может занять достаточно долгое время. Однако на данный момент в России промышленное производство микропроцессоров и микросхем сильно отстает от мировых лидеров [13] («Байкал», «Эльбрус» и другие «отечественные» чипы производились на Тайване), поэтому атомная промышленность в этой области является очень зависимой от российской отрасли микроэлектроники.

В зависимости от текущего уровня готовности структура портфеля новых технологических решений по ВЭ состоит из:

- 1) закупки необходимого апробированного стандартного промышленного оборудования (TRL 7—9);
- 2) доработки или локализации новых технических решений и оборудования (TRL 4—6);
- 3) разработки новых технологий и оборудования под специальные нужды и задачи (TRL 1—3).

### Организационные мероприятия

Реализация данных мероприятий под задачи ВЭ, обращения с РАО и реабилитации РЗТ потребует формирования условий и инструментов для взаимодействия с отраслевыми

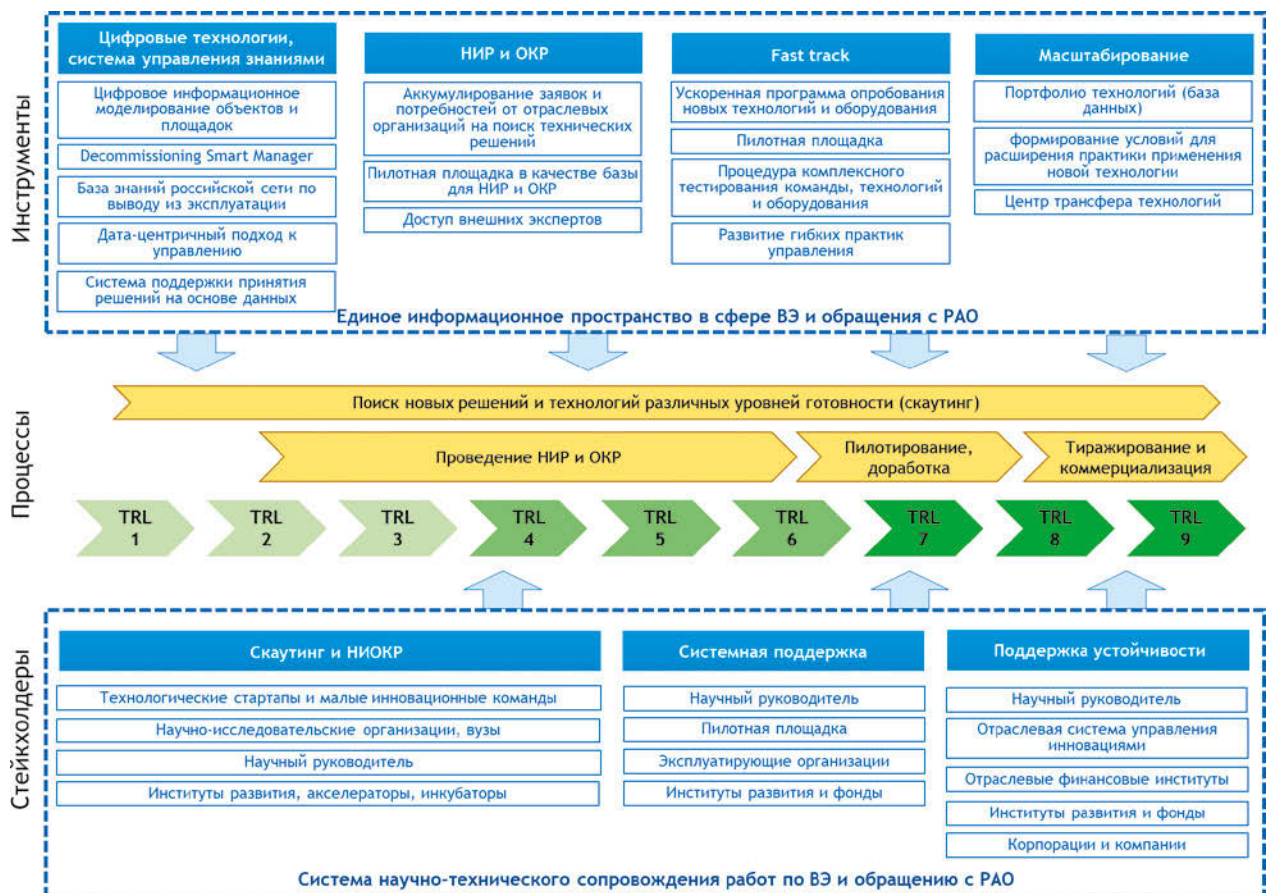


Рис. 3. Модель научно-технологического сопровождения ВЭ

заказчиками и потенциальными партнерами вне отрасли. Комплекс мероприятий по сопровождению этих решений представляет собой систематичный, непрерывный процесс, входящий в систему управления инновациями ГК «Росатом» и охватывающий все стадии жизненного цикла технологии. Для эффективного осуществления такой деятельности требуется дополнить существующую систему разработки новых продуктов следующими пунктами, важными для задач ВЭ и обращения с РАО:

(1) развитие института научно-технического сопровождения проектов;

(2) модернизация системы управления процессом ВЭ с целью усиления проектно-ориентированной модели деятельности в этой области;

(3) определение экспериментального полигона — пилотной площадки для разработки и апробирования технологических решений;

(4) совершенствование системы управления знаниями, создание единой информационной среды и развитие дата-центричного подхода к управлению работами.

На рис. 3 представлена непрерывная модель технологического сопровождения процессов развития и внедрения новых решений на разных стадиях технологической готовности (TRL).

Модель предусматривает развитие технологических цепочек на стадиях жизненного цикла технологий, описанных в соответствии с методологией оценки уровней готовности, представленной в ГОСТ Р 58048 [13].

В рамках предлагаемой модели шкала TRL интегрирована с бизнес-процессами поиска новых решений и методик (стартапов и малых инновационных команд) — скаутинга; проведения НИОКР в соответствии с потребностями отрасли; апробации в условиях реального объекта — пилотирования; формирования условий для расширения практики применения новой технологии в области ВЭ; коммерциализации и тиражирования технических решений.

### *Научно-техническое сопровождение*

В модели научно-технологического сопровождения научный руководитель по ВЭ играет роль консультативного и экспертно-совещательного органа. Его задачей является оказание содействия повышению эффективности деятельности по разработке, развитию и продвижению технических решений: предоставление открытого доступа внешним экспертам для консультирования по узкоспециализированным тематикам; развитие НИОКР в сфере перспективных проектов по ВЭ и обращению с РАО,

обеспечение трансфера технологий; сбор заявок и потребностей от отраслевых организаций на поиск технических решений; формирование и актуализация портфолио технологий (базы данных).

### *Организационное обеспечение пилотирования*

В области новых разработок для обозначения тестирования в реальных условиях обычно используется термин «пилотирование» — это проведение испытаний, в которых технология или техническое решение может доказать свою эффективность на конкретном предприятии. Организационно пилотирование обеспечивается совокупностью ресурсов и процедур для комплексного исследования методов и оборудования для выполнения операций ВЭ и обращения с РАО: их совместимость с технологическим стеклом, применимость, эффективность, соответствие техническим характеристикам и требованиям безопасности. Набор процедур по ускорению процесса тестирования и внедрения инноваций в компании называют fast-track (быстрая программа, англ.).

«Ускорить» можно процессы, которые занимают больше всего времени и усложнены, если поставщик или исполнитель находится вне контура ГК «Росатом»: проведение закупочной процедуры, подписание договора, организация системной экспертизы малых инновационных команд, типовые методики оценки эффективности пилотируемых технологий (по принципу А/В-тестирования).

### *Система управления знаниями*

Важными инструментами повышения эффективности и сокращения сроков в рамках fast-track-модели являются цифровая трансформация основных управленческих и поддерживающих процессов, а также усиление проектно-ориентированной модели деятельности в области ВЭ и обращения с РАО, включающие следующие направления: создание системы поддержки принятия решений о стратегии, вариантах и способах выполнения этих работ на основе полных и достоверных данных, в том числе с использованием средств на основе предиктивной аналитики; совершенствование механизмов цифрового проектирования, реинжиниринга и моделирования в сфере научно-технологического сопровождения, в т. ч. создание цифровых двойников (ЦД) как подлежащих ВЭ площадок ОИАЭ, так и проектов ВЭ; создание единой цифровой платформы технологических решений по ВЭ и системы управления знаниями.

## Цифровая среда

Цифровые информационные модели (ЦИМ) (англ. Building Information Model, BIM) объектов, подлежащих ВЭ, на сегодняшний день являются распространенным инструментом в мире и в России, главным образом для определения реальной конфигурации объекта, расположения оборудования, распределения загрязнений в пространстве, оценки количества образования РАО и иных отходов, отработки операций демонтажа загрязненного оборудования, конструктивных элементов реакторов и ряда других целей [14]. Накопленный опыт разработки ЦИМ площадок, зданий и сооружений при подготовке к ВЭ стал основой для создания ИБРАЭ РАН расчетных инструментов по анализу больших массивов цифровых данных о ЯРОО. Разработанное специализированное программное обеспечение (ПО) Decommissioning Smart Manager позволяет получить финансово-экономические оценки, прогноз образования отходов по типам и категориям, провести анализ чувствительности и определить наиболее критичные этапы и процессы в подготовке к ВЭ и выполнению работ. К ним следует отнести программу проведения КИРО, оценку объемов образования РАО и промышленных отходов, использование тех или иных технологий и оборудования и др.

В основе расчета стоимости проведения демонтажа лежат федеральные единичные расценки (ФЕР) на выполнение отдельных строительных работ, используемые с учетом соответствующих коэффициентов и индексов. Для специфических видов деятельности, характерных для проектов ВЭ ЯРОО и которых нет в ФЕР, специалистами ИБРАЭ РАН в Decommissioning Smart Manager сформирована собственная база данных расценок на основе конъюнктурного анализа рынка предложения и практического опыта [15]. С помощью ПО можно провести сравнение различных технологий и оборудования по объемам образующихся РАО, требуемому количеству ресурсов, стоимости и срокам, и выбрать оптимальный вариант.

Базовым звеном в цифровой среде является повышение эффективности работы с данными и формирование отраслевой системы управления знаниями в сфере ВЭ ЯРОО и обращения с РАО. В этом направлении в ИБРАЭ РАН реализована и тестируется бета-версия сайта Российской отраслевой сети по ВЭ — это экосистема продвижения знаний, исследований, разработок и инноваций, объединяющая заинтересованные стороны данного процесса. Люди как носители компетенций, знаний и умений являются

главным ядром сети ВЭ. Ее ключевая задача состоит в создании информационной среды для обмена опытом и поддержки инноваций в этой области. На сегодняшний день работы по ВЭ и обращению с РАО внутри контура «Росатома» выполняют свыше 40 организаций. Учитывая темпы роста количества выводимых из эксплуатации объектов, необходим информационный ресурс, с помощью которого организации могли бы общаться и делиться мнениями между собой, узнавать о новых разработках технологий и оборудования, отзываясь о его использовании, проводимых испытаниях, ознакомиться с чужими извлеченными уроками, удачным и неудачным опытом выполнения работ по ВЭ.

## Обзор рынка предложения

В качестве первого шага для проведения пилотирования был осуществлен скаутинг разработок, прототипов, технологий и оборудования, позволяющих повысить эффективность проведения основных операций по ВЭ. Широкая стратегия данной методики включала поиск по следующим направлениям: по патентам, по лицензиям, по индустриальным ассоциациям, саморегулируемым организациям, институтам развития, а также выборке компаний, известных сотрудникам ИБРАЭ РАН по публикациям, участию в конференциях и т. п. Условием поиска было отсутствие у компании опыта осуществления поставок или выполнения работ для предприятий контура Госкорпорации «Росатом».

В результате этого был получен список из 167 организаций, из которых 155 являются российскими и 12 — иностранными, представляющими Китай и Бразилию.

Дальнейшее рассмотрение предлагаемых компаниями разработок, технологий и оборудования сократило список до 109 организаций. Распределение по направлениям деятельности по ВЭ, к которым можно отнести продукцию или услуги компании, представлено на рис. 4.

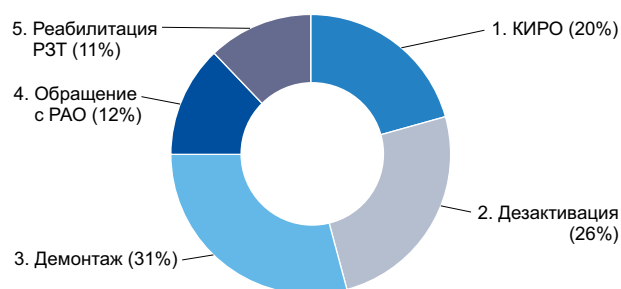


Рис. 4. Распределение найденных перспективных технологических решений по направлениям деятельности по ВЭ



В соответствии с результатами поиска наиболее представленными направлениями стали дезактивация и демонтаж, менее всего компаний было найдено в категории реабилитация РЗТ.

Демонтаж промышленных зданий, сооружений и инфраструктурных объектов является развитым направлением в строительной отрасли. Эти компании, как правило, имеют свой развитый парк спецтехники и предлагают услуги «под ключ» по выносу инженерных сетей, демонтажу, сносу, обращению с образующимися отходами и реабилитации территории. Организации, занимающиеся дезактивацией, предлагают к поставке материалы и оборудование для проведения работ электрохимическим, ультразвуковым, лазерным методами, с применением демонтажных роботов с рабочими инструментами для механообработки.

Для выполнения задач реабилитации радиационно и химически загрязненных грунтов, как было рассмотрено ранее в статье, невозможно предложить универсального решения. Для каждого конкретного участка загрязнения подбирается или адаптируется технология очистки грунта; масштабы загрязнения определяют какое оборудование потребуется для сортировки, очистки, дезактивации, контейнеризации и т. д.

Подтвердили стремление к дальнейшему взаимодействию 22 организации (рис. 5). Большинство компаний (60) или не дали четкого ответа, или не заинтересованы в участии в предлагаемом проекте.

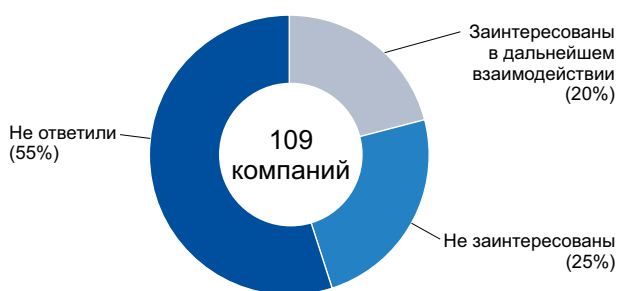


Рис. 5. Распределение типов обратной связи от компаний

Предоставленная организациями информация об их бизнесе, оказываемых услугах, производимых цифровых продуктах, оборудовании, материалах, а также полученный ими опыт работ были проанализированы шестью экспертами, имеющими теоретические и практические компетенции по выполнению всего комплекса работ, связанного с ВЭ.

Оценка выполнялась экспертами в свободной форме в виде отзыва, комментария, предположения и основывалась на данных о существующих

и широко применяемых компанией технологиях при ВЭ, новых исследованиях и разработках, а также о специфике ЯРОО, мероприятия по которым запланированы в ФЦП ЯРБ-2, и проводилась по трем критериям:

- 1) уникальность и новизна разработки;
- 2) техническая реализуемость на ОИАЭ;
- 3) перспективность широкого использования в области ЗСЖЦ.

Полученные экспертные оценки были приведены к единому формату в контексте нечеткой логики: высокое значение (определенно положительная оценка), средне-высокое значение (скорее положительная оценка), требуется подтверждение (нельзя дать оценку, т. к. недостаточно критически важных данных о технологии/оборудовании), средне-низкое значение (скорее отрицательная оценка) и низкое значение (определенно отрицательная оценка).

Прослеживается взаимосвязь между показателями новизны и реализуемости: если эксперты отмечали высокий уровень новизны, то оценки реализуемости были, как правило, низкими, т. к. для новых, неопробованных технологий сложно прогнозировать реальность их широкого применения, и наоборот — для уже известных, с невысоким уровнем новизны. Для технологий, которые можно отнести к прорывным, оценки чаще всего были нулевыми, т. к. экспертам требовались дополнительные подтверждающие сведения.

Дальнейшее взаимодействие с компаниями позволяет говорить о возможности пилотирования технологий/оборудования как минимум шести из них, что показывает результативность скаутинга в 6%. В финальный перечень вошли три организации, оборудование и программное обеспечение которых может быть применено при проведении КИРО, две компании, предлагающие способы очистки грунта, и одна компания, производящая демонтажные дистанционно управляемые устройства.

## Заключение

Текущий уровень технологического обеспечения в области ВЭ, обращения с РАО и реабилитации РЗТ представляет широкий потенциал для развития, к ключевым направлениям которого относятся:

- применение цифровых и расчетных инструментов, позволяющих проводить вариантный анализ различных решений и обоснование оптимального из них;
- внедрение успешно работающих в других странах технологий с использованием российского

оборудования путем локализации, трансфера лицензий или создания совместного производства;

- формирование организационных инструментов поиска и внедрения более совершенных технологий.

В качестве первых результатов в данных направлениях можно назвать уже распространенную практику применения цифровых информационных моделей, использование ПО Decommissioning Smart Manager для проведения многовариантных расчетов возможных стратегий ВЭ. К следующим шагам относится запуск сайта российской сети по ВЭ и проведение пилотирования выбранных новых технических решений, имеющих потенциал для широкого внедрения в эту область деятельности.

## Литература

1. Андреев Ю. Н., Лукашева Н. А., Секерин В. Д. Пути усиления взаимодействия малых инновационных предприятий с промышленностью // *Инноватика и экспертиза: научные труды*. 2018. № 3. С. 76–84.
2. Специалисты ГНЦ РФ ТРИНИТИ провели уникальные подводные испытания мобильного лазерного комплекса / Оф. сайт ГНЦ РФ ТРИНИТИ triniti.ru. — URL: [https://www.triniti.ru/info/news/spetsialisty\\_gnts\\_rf-triniti-proveli-unikalnye-podvodnye-ispytaniya-mobilnogo-lazernogo-kompleksa-/?sphrase\\_id=3425](https://www.triniti.ru/info/news/spetsialisty_gnts_rf-triniti-proveli-unikalnye-podvodnye-ispytaniya-mobilnogo-lazernogo-kompleksa-/?sphrase_id=3425) (дата обращения: 12.10.2022).
3. Михайкин С. В. Результаты НИОКР в поддержку безопасного выполнения работ по выводу из эксплуатации // *Материалы XI Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях»* (г. Москва, 26–29 октября 2021 г.). — Москва, ИБРАЭ РАН, 2022. Т. 4. С. 163–175.
4. На ПО «Маяк» к работам по выводу из эксплуатации объектов советского ядерного наследия приступят роботы / Оф. сайт ФГУП «ПО «Маяк» po-mayak.ru. — URL: [https://www.po-mayak.ru/press\\_center/press/news\\_mayak/na\\_po\\_mayak\\_k\\_rabotam\\_po\\_vyvodu\\_iz\\_ekspluatatsii\\_obektov\\_sovetskogo\\_yadernogo\\_naslediya\\_pristupyat\\_r/](https://www.po-mayak.ru/press_center/press/news_mayak/na_po_mayak_k_rabotam_po_vyvodu_iz_ekspluatatsii_obektov_sovetskogo_yadernogo_naslediya_pristupyat_r/) (дата обращения: 12.10.2022).
5. Vetter K., Barnowski R., Cates J., Haefner A., Joshi T., Pavlovsky R., Quiter B. J. Advances in Nuclear Radiation Sensing: Enabling 3-D Gamma-Ray Vision // *Sensors*. 2019. No. 19. С. 1–13. DOI: 10.3390/s19112541.
6. Boston Dynamics Robot at ChNPP / Оф. сайт Чернобыльской АЭС chnpp.gov.ua. — URL: <https://chnpp.gov.ua/en/infocenter/news/5668-boston-dynamics-robot-at-chnpp> (дата обращения: 12.11.2021).
7. Spot takes nuclear O&M to parts other robots cannot reach / Информационное агентство REUTERS. — URL: <https://www.reutersevents.com/nuclear/spot-takes-nuclear-om-parts-other-robots-cannot-reach> (дата обращения: 02.11.2021).
8. Дорофеев А. Н., Савельева Е. А., Уткин С. С., Понизов А. В. и др. Эволюция обоснования долговременной безопасности ПГЗ ЖРО // *Радиоактивные отходы*. 2017. № 1. С. 56–65.
9. Технологии и процессы очистки и демонтажа. От НИОКР до промышленного внедрения. Французская комиссия по альтернативным источникам энергии и атомной энергии (CEA) (на фр. языке). — URL: <https://cadarache.cea.fr/cad/Documents/Entreprises/Valorisation/techno-assainissement-demantelement/0-%20Technologies%20CEA.pdf> (дата обращения: 12.10.2022).
10. Snake-arm robots for confined and hazardous spaces. OC Robotics. In-Space Non-Destructive Inspection Technology Workshop 29<sup>th</sup> February – 1<sup>st</sup> March 2012. — URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/628551main\\_4C-1\\_Buckingham.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/628551main_4C-1_Buckingham.pdf) (дата обращения: 12.10.2022).
11. На предприятии Росатома запустят инновационную установку по сортировке грунтов / Оф. сайт Государственной корпорации по атомной энергии rosatom.ru. — URL: <https://rosatom.ru/journalist/arkhiv-novostey/na-predpriyatii-rosatoma-zapustyat-innovatsionnuyu-ustanovku-po-sortirovke-gruntov/> (дата обращения: 12.10.2022).
12. ГОСТ Р 58048-2017. Национальный стандарт Российской Федерации «Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий». Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2017 № 2128-ст.
13. Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года № 20-р.
14. Александрова Т. А., Иванов А. Ю., Линге Ин. И., Лунов Д. М., Савельева Е. А., Самойлов А. А., Уткин В. Б. Оценка объемов образования РАО от вывода из эксплуатации с использованием информационных моделей // *Радиоактивные отходы*. 2020. № 3 (12). С. 19–31. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-19-31.
15. Ильясов Д. Ф., Иванов А. Ю., Агафонов Н. П., Михайленко А. А., Овчинников И. Д., Степанян П. О. Разработка программного обеспечения для оценки стоимости проектов по ликвидации ядерно и радиационно опасных объектов с применением цифрового моделирования // *Теоретическая и прикладная экономика*. Статья принята в печать 21 октября 2022 года.

### Информация об авторах

*Тихонова Алена Александровна*, заместитель начальника управления, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24), e-mail: AATikhonova@rosatom.ru.

*Самойлов Андрей Анатольевич*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: samoylov@ibrae.ac.ru.

*Ильина Ольга Александровна*, руководитель проекта, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: ilina@ibrae.ac.ru.

*Иванов Артем Юрьевич*, и. о. зав. отделением, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

*Белоусов Сергей Вячеславович*, главный специалист, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: belousovsv@ibrae.ac.ru.

*Сергунин Алексей Петрович*, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: sergunin@ibrae.ac.ru.

*Ступин Роман Сергеевич*, главный специалист, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: stupin@ibrae.ac.ru.

*Гребнева Александра Дмитриевна*, специалист, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: grebneva@ibrae.ac.ru.

### Библиографическое описание статьи

*Тихонова А. А., Самойлов А. А., Ильина О. А., Иванов А. Ю., Белоусов С. В., Сергунин А. П., Ступин Р. С., Гребнева А. Д.* Особенности процесса поиска и внедрения новых технологических решений по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия и обращению с образующимися при этом радиоактивными отходами // Радиоактивные отходы. 2022. № 4 (21). С. 90–102. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-90-102.

---

## SPECIFIC ASPECTS OF SEARCHING FOR AND IMPLEMENTING NEW ENGINEERING SOLUTIONS FOR THE DECOMMISSIONING OF NUCLEAR LEGACY FACILITIES AND THE MANAGEMENT OF RADIOACTIVE WASTE GENERATED DURING THIS PROCESS

**Tikhonova A. A.<sup>1</sup> Samoilov A. A.<sup>2</sup>, Ilina O. A.<sup>2</sup>, Ivanov A. Yu.<sup>2</sup>, Belousov S. V.<sup>2</sup>,  
Sergunin A. P.<sup>2</sup>, Stupin R. S.<sup>2</sup>, Grebneva A. D.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>State Corporation Rosatom, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on October 11, 2022

*Effective decommissioning of nuclear legacy facilities depends directly on the applied engineering methods providing decontamination, dismantlement and RW management. The effectiveness of widely known and commonly applied methods cannot be seen as a constant value since it is governed by multiple factors, including the specific characteristics of the considered facilities. Pre-decommissioning stage should also consider some alternative techniques, methods, types of equipment and tooling, including those that are currently used outside the scope of nuclear industry.*

To increase the decommissioning performance, including the efforts implemented under the Federal Target Program Nuclear and Radiation Safety in 2016–2035, on the one hand, some digital and calculation tools providing variant-based evaluation of different alternative options and supporting the selection of an optimal one may be used, and on the other hand – some tools helping to search for and implement more advanced decommissioning and RW management technologies may be developed.

The paper summarizes the assessment of nuclear decommissioning technologies and equipment applied in Russia and abroad showing certain potential for further industrial development. It also considers the scouting results focused on developments, prototypes, technologies and equipment associated with the areas of further industrial development providing opportunities for an increased performance during the implementation of key decommissioning operations.

**Keywords:** radioactive waste, digital information models, decommissioning, decontamination, dismantling, radioactive waste management, cleanup of contaminated areas, remotely operated devices, autonomous robotic means, software.

## References

1. Andreev Yu. N., Lukasheva N. A., Sekerin V. D. Puti usileniya vzaimodeystviya malykh innovatsionnykh predpriyatii s promyshlennost'yu [Ways to strengthen the interaction of small innovative enterprises with the industry]. *Innovatika i ekspertiza: nauchnyye trudy — Innovation and expertise: scientific papers*, 2018, no. 3, pp. 76–84.
2. Spetsialisty GNTS RF TRINITY proveli unikal'nyye podvodnyye ispytaniya mobil'nogo lazernogo kompleksa [Specialists of the SRC RF TRINITY have performed unique underwater tests of a mobile laser complex]. Official SRC RF TRINITY website triniti.ru. — URL: [https://www.triniti.ru/info/news/spetsialisty-gnts-rf-triniti-proveli-unikalnye-podvodnye-ispytaniya-mobilnogo-lazernogo-kompleksa-/?sphrase\\_id=3425](https://www.triniti.ru/info/news/spetsialisty-gnts-rf-triniti-proveli-unikalnye-podvodnye-ispytaniya-mobilnogo-lazernogo-kompleksa-/?sphrase_id=3425) (accessed on 10.12.2022).
3. Mikheykin S. V. Rezul'taty NIOKR v podderzhku bezopasnogo vypolneniya rabot po vyvodu iz ekspluatatsii [R&D results supporting safe decommissioning]. Proceedings of the XI Russian Scientific Conference Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies (Moscow, October 26–29, 2021). Vol. 4. — Moscow, IBRAE RAN Publ., 2022. Pp. 163–175.
4. Na PO «Mayak» k rabotam po vyvodu iz ekspluatatsii ob'yektov sovetskogo yadernogo naslediya pristupyat roboty [Robots to start decommissioning of Soviet nuclear legacy facilities at PA Mayak site], Official FSUE PA MAYAK website po-mayak.ru. — URL: [https://www.po-mayak.ru/press\\_center/press/news\\_mayak/na\\_po\\_mayak\\_k\\_rabotam\\_po\\_vyvodu\\_iz\\_ekspluatatsii\\_obektov\\_sovetskogo\\_yadernogo\\_naslediya\\_pristupyat\\_r/](https://www.po-mayak.ru/press_center/press/news_mayak/na_po_mayak_k_rabotam_po_vyvodu_iz_ekspluatatsii_obektov_sovetskogo_yadernogo_naslediya_pristupyat_r/) (accessed on 12.10.2022).
5. Vetter K., Barnowski R., Cates J., Haefner A., Joshi T., Pavlovsky R., Quiter B. J. Advances in Nuclear Radiation Sensing: Enabling 3-D Gamma-Ray Vision. *Sensors*, 2019, no. 19, pp. 1–13. DOI: 10.3390/s19112541.
6. Boston Dynamics Robot at ChNPP. Official website of the Chernobyl nuclear power plant chnpp.gov.ua. — URL: <https://chnpp.gov.ua/en/infocenter/news/5668-boston-dynamics-robot-at-chnpp> (accessed on 12.11.2021).
7. Spot takes nuclear O&M to parts other robots cannot reach. Information Agency REUTERS. — URL: <https://www.reutersevents.com/nuclear/spot-takes-nuclear-om-parts-other-robots-cannot-reach> (accessed on 02.11.2021).
8. Dorofeev A. N., Saveleva E. A., Utkin S. S., Ponzov A. V. et al. Ehvolyutsiya obosnovaniya dolgovremennoi bezopasnosti PGZ ZHRO [Evolution in the Safety Case for Liquid Radioactive Waste Geological Repositories]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 56–65.
9. Tekhnologii i protsessy ochistki i demontazha. Ot NIOKR do promyshlennogo vnedreniya. Frantsuzskaya komissiya po al'ternativnym istochnikam ehnergii i atomnoi ehnergii (CEA) [Technologies and processes of cleaning and dismantling. From R&D to industrial implementation. French Commission for Alternative Energy Sources and Atomic Energy (CEA)]. (In French). — URL: <https://cadarache.cea.fr/cad/Documents/Entreprises/Valorisation/techno-assainissement-demantelement/0-%20Technologies%20CEA.pdf> (accessed on 12.10.2022).
10. Snake-arm robots for confined and hazardous spaces. OC Robotics. In-Space Non-Destructive Inspection Technology Workshop 29th February – 1st March 2012. — URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/628551main\\_4C-1\\_Buckingham.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/628551main_4C-1_Buckingham.pdf) (accessed on 12.10.2022).
11. Na predpriyatii Rosatoma zapustyat innovatsionnyu ustanovku po sortirovke gruntov [An innovative plant for soil segregation will be launched at a Rosatom enterprise]. Official website of the State Atomic Energy Corporation rosatom.ru. — URL: <https://rosatom.ru/journalist/arkhiv-novostey/na-predpriyatii-rosatoma-zapustyat-innovatsionnyu-ustanovku-po-sortirovke-gruntov/> (accessed on 10.12.2022).
12. GOST R 58048-2017. *Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii “Transfer tekhnologiy. Metodicheskiye ukazaniya po otsenke urovnya zrelosti tekhnologiy”. Utverzhden i vveden v deystviye Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29.12.2017 No. 2128-st* [GOST R 58048-2017.

National standard of the Russian Federation. Technology Transfer. Guidelines for the Maturity Level Assessment of Technologies. Approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of December 29, 2017 No. 2128-st].

13. *Strategii razvitiya elektronnoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i plana meropriyatiy po realizatsii Strategii razvitiya elektronnoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniyem Pravitel'stva RF ot 17 yanvarya 2020 goda No. 20-r* [Strategy for electronic industry development in the Russian Federation for the period up to 2030 and an action plan for the implementation of the Strategy for electronic industry development of the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by

order of the Government of the Russian Federation of January 17, 2020 No. 20-r].

14. Aleksandrova T. A., Ivanov A. Yu., Linge In. I., Lunov D. M., Saveleva E. A., Samoylov A. A., Utkin V. B. Otsenka ob'emov obrazovaniya RAO ot vyvoda iz ehkspluatatsii s ispol'zovaniem informatsionnykh modelei [RW Volumes from the Decommissioning Estimated Using Information Models]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2020, no. 3 (12), pp. 19–31. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-19-31.

15. Ilyasov D. F., Ivanov A. Yu., Agafonov N. P., Mikhailenko A. A., Ovchinnikov I. D., Stepanyan P. O. Razrabotka programmnoy obespecheniya dlya otsenki stoimosti proyektov po likvidatsii yadernykh i radiatsionno opasnykh ob'yektov s primeneniym tsifrovogo modelirovaniya // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika*. Accepted for publication October 21, 2022.

---

### Information about the authors

*Tikhonova Alena Aleksandrovna*, Deputy Chief Management, State Corporation Rosatom (24, Bolshaya Ordynka st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: AATikhonova@rosatom.ru.

*Samoilov Andrey Anatolyevich*, Ph.D., Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: samoylov@ibrae.ac.ru.

*Ilina Olga Alexandrovna*, Project Manager, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: ilina@ibrae.ac.ru.

*Ivanov Artem Yurievich*, acting Head of Department, Nuclear Safety Institute of RAS (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

*Belousov Sergey Vyacheslavovich*, Chief Specialist, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: belousovsv@ibrae.ac.ru.

*Sergunin Alexey Petrovich*, Engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: sergunin@ibrae.ac.ru.

*Stupin Roman Sergeevich*, Chief Specialist, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: stupin@ibrae.ac.ru.

*Grebneva Aleksandra Dmitrievna*, Specialist, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: grebneva@ibrae.ac.ru.

### Bibliographic description

Tikhonova A. A., Samoilov A. A., Ilina O. A., Ivanov A. Yu., Belousov S. V., Sergunin A. P., Stupin R. S., Grebneva A. D. Specific aspects of searching for and implementing new engineering solutions for the decommissioning of nuclear legacy facilities and the management of radioactive waste generated during this process. *Radioactive Waste*, 2022, no. 4 (21), pp. 90–102. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-90-102. (In Russian).