

К ВОПРОСУ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

М. Ю. Каленова, И. В. Кузнецов, А. Ю. Иванов, А. В. Перов, О. А. Ильина

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 9 октября 2024 г.

В статье представлена информация о проведенной оценке использования роботизированных комплексов (РТК) при выполнении работ по выводу из эксплуатации (ВЭ) исторического радиационно опасного объекта, обозначены аспекты, ограничивающие их масштабное применение. Описаны результаты испытаний монтажных комплексов РОИН РТС Р-100 и Бетонолом-2000 российского производства в условиях площадки Московского филиала ФГУП «РАДОН», подтвердившие функциональность техники и высокий потенциал к внедрению. Определены технические параметры проведения различных операций, дана расчетная оценка производительности при работе гидромолотом. На основании анализа практических результатов сформулированы рекомендации по продолжению работ в целях обеспечения эффективного применения робототехники в проектах по ВЭ. Отмечается, что на показатель эффективности применения РТК влияет ряд различных факторов, но наибольшее воздействие оказывает квалификация и навыки оператора, что необходимо учитывать при планировании работ по ВЭ. Обозначены предпосылки к использованию данной техники в целях повышения безопасности проводимых работ и снижения негативного воздействия вредных производственных факторов на персонал.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, монтажные роботизированные комплексы, отечественная техника, испытания, навесное оборудование, демонтаж, производительность, эффективность, безопасность, радиоактивные отходы.

Введение

Эффективность выполнения работ по ВЭ ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) напрямую зависит от применяемого оборудования, технических и технологических решений, выбор которых часто ограничивается устоявшейся практикой на предприятиях, где предпочтение отдается уже используемым методам без рассмотрения альтернативных, зачастую более выгодных.

В рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года» (ФЦП ЯРБ-2) ведется непрерывный мониторинг выполнения проектов с целью улучшения показателей реализации мероприятий по ВЭ ЯРОО. Ранее были определены и описаны зоны технологического развития по различным направлениям данной деятельности и

обращению с образующимися радиоактивными отходами (РАО) для внедрения новых и успешно применяемых в смежных отраслях промышленности РТК, инновационных технологий и оборудования [1].

К одному из таких перспективных направлений относится демонтаж строительных конструкций и оборудования, на текущий момент реализуемый в основном с использованием ручного труда и крупной строительной техники [2]. Только в особых случаях прибегают к развешиванию специальных машин, например, для разборки реакторных установок [3]–[5], при ликвидации последствий тяжелых аварий [6] или выполнении иных узкопрофильных задач. Тем не менее полученный положительный опыт применения РТК на предприятиях Госкорпорации «Росатом» [3] не явился достаточным для массового внедрения их в область ВЭ при сохранении общего тренда роботизации атомной отрасли. Основные причины сложившейся ситуации вполне очевидны:

- высокие цены на импортное оборудование;
- сложность в поиске российских аналогов, сопоставимых с зарубежным оборудованием по соотношению стоимости и качества;
- длительный цикл разработки, изготовления и внедрения роботизированного оборудования, сопровождающийся потребностью в обучении персонала и поддержании его квалификации;
- необходимость поиска областей применения такой техники по завершении объектовых работ по ВЭ для достижения положительного баланса между показателями экономичности и эффективности, что затруднительно в рамках одной организации;
- в некоторой степени инертность атомной отрасли, особенно в области ВЭ, и неготовность персонала к преобразованиям текущей операционной деятельности.

Вместе с тем происходящие в последние несколько лет изменения, связанные с необходимостью создания безопасной рабочей среды и стремительным развитием отечественного парка робототехники, дали дополнительный импульс для формирования системного подхода и создания основ роботизации деятельности по ВЭ ЯРОО [8]. При этом прослеживается четкая тенденция на применение робототехники российского производства, также даются осторожные прогнозы о постепенном вытеснении существующих зарубежных машин на предприятиях отрасли по мере выработки их ресурса.

В качестве основной техники для проведения демонтажных работ как внутри, так и вне помещений при ВЭ ЯРОО рассматриваются

относительно небольшие РТК снаряженной массой от 1,5 до 4,5 тонн, функциональность которых во многом определяется разнообразием комплектного навесного оборудования. В случае невозможности выполнения каких-либо узкоспециализированных задач с применением такого оборудования, имеющегося на рынке, возможно в достаточно адекватные сроки изготовить работающий промышленный образец с последующим внедрением с использованием технологии быстрого прототипирования.

Основная цель настоящей работы заключалась в оценке готовности отечественной демонтажной техники для практического применения в деятельности по ВЭ ЯРОО и выявлении необходимости и возможности ее модернизации. В основу оценки и разработки рекомендаций по дальнейшему развитию этого направления заложены результаты испытаний наиболее прогрессивных и востребованных моделей демонтажных РТК на релевантных объектах (образцах) пилотной площадки Московского филиала ФГУП «РАДОН» (далее — Площадка).

Описание демонтажных комплексов

Выбор демонтажных комплексов для опробования был выполнен в соответствии с ранее разработанной методологией и сформулированными критериями отбора [1]:

- высокая степень технологической и/или коммерческой зрелости;
- конкурентная стоимость;
- высокий потенциал к внедрению для решения задач ВЭ;
- гибкость взаимодействия с производителем при разработке новых и нестандартных технических решений;
- наличие у поставщика демонстрационных образцов или близких по своим характеристикам прототипов для проведения испытаний.

На основании выполненного комплексного анализа подобного оборудования отобрано три РТК: РОИН РТС Р-100 (АО МГК «ИНТЕХРОС», Воронеж), Бетонолом-2000 (ООО «Роботехникс», Мытищи) и АТЛАНТ 4000 модификации 2013 года (ООО «Специальная строительная техника», Пермь). В данной статье подробно рассмотрены демонтажные РТК РОИН РТС Р-100 и Бетонолом-2000 (рис. 1, 2), определенные по итогам испытаний как более совершенные.

Модель РТС Р-100 относится к легкой серии, ее масса составляет немного более 3 т (табл. 1). Машина оснащена полноповоротной башней, что в совокупности с максимальным выносом стрелы

Вывод из эксплуатации ОИАЭ

до 5,4 м позволяет существенно расширить рабочую зону, а при эксплуатации в стесненных условиях — минимизировать необходимость передвижения.



Рис. 1. Демонтажный комплекс РОИН РТС Р-100

Таблица 1. Технические характеристики РТК и состав навесного оборудования

Характеристика	Бетонолом-2000	РОИН РТС Р-100
	Значение	
Габаритные размеры, мм	1245 × 780 × 2 475	1502 × 1000 × 3100
Масса, кг	2 000	3 300
Максимальный вес навесного оборудования, кг	250	350
Мощность двигателя, кВт	22	
Материал гусеничных лент	армированная резина	металл
Техническое состояние на момент испытаний	имеющаяся наработка 12 000 моточасов	новая машина, поставка с производственной линии
Состав комплектного навесного оборудования	гидромолоты РТ200, Epiroc SB202; ковш прямой и обратный; ножницы по бетону Darda; гидравлический захват (собственная разработка)	гидромолот Epiroc SB302; гидроножницы Italmec IC 1.8; ковш; грейфер для захвата DGM20; крашер HP01
Система управления	управление РТК производится дистанционно с пульта оператора, дополнительные средства визуализации (видеоконтроль) не предусмотрены	

Практическое применение РОИН РТС Р-100 осуществляется в различных отраслях промышленности [9], для нужд атомной отрасли машины этой серии специально модифицировались по заказам ФГУП «ПО «Маяк» и ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина» [10].

Демонтажный РТК Бетонолом-2000 (рис. 2) является самым легким и малогабаритным из всех серийно выпускаемых в РФ и опробованных на



Рис. 2. Демонтажный комплекс Бетонолом-2000

Площадке машин (табл. 1). Благодаря компактности он может выполнять широкий спектр задач, особенно при использовании в стесненных условиях.

Сценарные условия испытаний

Для каждой машины разрабатывались индивидуальные сценарии испытаний, наиболее полно раскрывающие функциональные возможности и эксплуатационные характеристики РТК, с учетом имеющихся ограничений Площадки и ассортимента навесного оборудования, поставляемого производителем. В объем испытаний включались тесты по оценке профильной проходимости, определению скорости передвижения по асфальтобетонному покрытию и грунтовым поверхностям. Для установления длительности цикла работ и производительности выполнялись типовые операции различным навесным оборудованием, включая его замену. Также проводились испытания при производстве работ с негабаритными объектами и объектами, расположенными в труднодоступных местах. На рис. 3 приведены отдельные примеры участков и объектов для испытаний.

В качестве сравнительного образца испытаний в работе принимались фундаментные блоки сплошные (ФБС), средний размер которых составлял 2260 × 570 × 550 мм (объем ~0,7 м³), прочность — 48 МПа. При этом оценивалась производительность РТК при фрагментации бетонных конструкций с применением гидромолотов.

На одном из участков Площадки располагались вертикальные железобетонные колонны квадратного сечения 0,4 × 0,4 м и высотой от 4,3 до 5,4 м (рис. 3), выбранные для демонтажа с применением РОИН РТС Р-100.



колонны



фрагмент фундаментного основания



бетонные фундаментные блоки



кирпичный забор

Рис. 3. Примеры объектов для испытаний, размещенных на Площадке

Относительно компактный РТК Бетонолом-2000 опробовался в стесненных условиях (рис. 4). На рисунке номерами отмечена последовательность демонтажа фрагментов фундаментного основания и показана точка выгрузки РТК.

В процессе испытаний отслеживались длительность и удобство выполнения операций,

фиксируются параметры: расход электроэнергии (кВт·ч), размер образующейся фракции (м), затрачиваемое время (с), пройденное расстояние (м). Расход электроэнергии определялся по показаниям электрического счетчика, интегрированного в переносной электрощит. Для проведения последующих расчетов предварительно замерялись линейные размеры (м) и прочность (МПа) образцов для испытаний с использованием склерометра RGK SK-60.

Проверка надежности работы оборудования осуществлялась при визуальном осмотре на наличие течей гидравлических жидкостей, а также изменения температуры двигателя в процессе и по завершении непрерывной эксплуатации в течение не менее четырех часов.

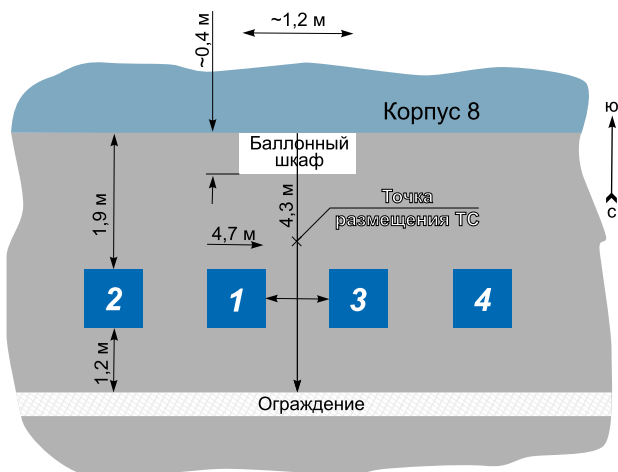


Рис. 4. Схема участка для испытаний РТК в ограниченном пространстве

Анализ и обсуждение результатов испытаний

При обработке результатов испытаний проанализированы показатели, характеризующие подготовительные операции, перемещение РТК, смену навесного оборудования, функционирование в режимах фрагментации, разрушения, экскавации и манипулирования объектами.

Подготовка демонтажных РТК к работе занимает не более 10 минут, в нее входит подключение к системе электроснабжения, проверка состояния коммутации элементов гидравлических и электрических компонентов, установка навесного оборудования (при необходимости) и постановка на аутригеры.

В табл. 2 приведены результаты расчетов скоростей перемещения демонтажных роботов.

Таблица 2. Результаты определения параметров перемещения демонтажных РТК

Поверхность	Скорость, км/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м ($\times 10^3$)	Скорость, км/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м ($\times 10^3$)
	Бетонолом-2000		РОИН РТС Р-100	
Асфальт	1,1	16,5	2,69	5,8
Насыпной грунт	0,72	20,3	2,52	7,5

Определено, что полезная нагрузка не оказывает влияния на величины скоростей. Отмечен повышенный удельный расход электроэнергии при движении РТК Бетонолом-2000, что обусловлено несколькими причинами: рваный темп перемещения на сложном рельефе, требующий маневрирования; работа гидромоторов колес в областях нагрузок, близких к максимальным.

Для тяжелых демонтажных роботов, несмотря на меньшую энерговооруженность, длинная база гусеничного шасси обеспечивает лучшую продольную устойчивость, тем самым обеспечивая относительно высокую среднюю скорость, что видно на примере РОИН РТС Р-100. При преодолении выступов рельефа длинная машина испытывает меньшие отклонения в поперечной оси и вертикальное ускорение, что снижает риск опрокидывания. В случае короткобазных машин, таких как Бетонолом-2000, максимальная скорость движения часто ограничивается конструктивно во избежание опрокидывания, несмотря на сопоставимую или большую производительность гидросистемы.

Операции по смене навесного оборудования проводились с использованием комплектных позиций (табл. 1). Один цикл включал в себя снятие одного инструмента и установку другого, последовательность действий приведена на рис. 5.

Длительность операции замены инструмента составляет до 10 минут, вне зависимости от типа навесного оборудования. Определено, что продолжительность может лимитироваться двумя факторами: конструктивным исполнением механизма стыковки навесного оборудования со стрелой РТК и гидравлической системы; опытом и квалификацией оператора. В целом операция является ресурсозатратной и при этом непроизводительной, поэтому при подготовке локальных планов ВЭ ЯРОО работы необходимо организовывать таким образом, чтобы количество необходимых смен инструментов было минимальным. Кроме того, целесообразно использовать переходные плиты (адаптеры) и так называемые «квик-каптеры», обеспечивающие возможность дистанционной замены навесного оборудования, полностью исключая ручные манипуляции. В качестве примера можно привести систему OQ (OilQuick, ФРГ), поддерживаемую крупными производителями специальной техники, выпускающими совместимое с ней навесное оборудование.

Результаты расчетов производительности двух демонтажных РТК при сравнительных испытаниях по разрушению ФБС (рис. 6) приведены в табл. 3. Бетонолом-2000 комплектовался двумя моделями гидромолотов российского, РТ200 (ООО «Традиция-К»), и зарубежного, SB202 (Epiroc Ab, Швеция), производства, что позволило сопоставить результаты. С учетом того, что испытания проводились в идентичных условиях, причина расхождения показателей объясняется более совершенной конструкцией гидростатического механизма SB202.

Относительно невысокие для более тяжелой машины РОИН РТС Р-100 с гидромолотом SB302 показатели обусловлены щадящим характером эксплуатации РТК.

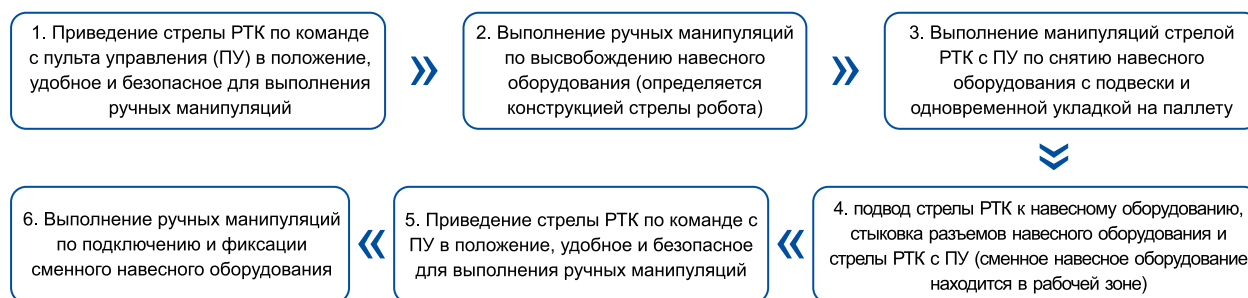


Рис. 5. Принципиальная схема замены навесного оборудования РТК



Рис. 6. Сравнительные испытания по разрушению ФБС

Таблица 3. Результаты испытаний в режиме фрагментации ФБС при работе гидромолотами

Характеристика	Бетонолом-2000		РОИН РТС Р-100,
	гидромолот SB202	гидромолот РТ200	гидромолот SB302
Средняя производительность, м ³ /ч	3,7	3,1	2,5
Средний размер фракции*, м	0,2	0,2	0,3
Расход электроэнергии на 1 м ³ , кВт·ч	3,1	3,6	4,0

Примечание:
*Объем фракции со средним размером частиц составляет не менее 75 %.

Определено, что производительность РТК закономерно снижается при работе с массивными и сложными объектами, и наоборот. Например, при демонтаже высотных колонн (рис. 3, 7), изготовленных из прочного бетона (56 МПа), продуктивность РОИН РТС Р-100кратно падает в совокупности с увеличенным до 3,5 раз потреблением электроэнергии (относительно данных табл. 5). Данное обстоятельство объясняется работой гидравлического молота в верхней точке вылета стрелы РТК, что не позволяет создать упор за счет собственного веса машины и, как следствие, реализовать его полную мощность при сохранении потребляемой энергии. В зависимости от типа демонтируемого объекта, в данном случае кирпичного забора и фрагментов фундаментного основания объемом 0,4 м³ (рис. 3), производительность машины Бетонолом-2000 отличалась в разы: 27,3 и 4,32 м³/ч при расходе электроэнергии, равном 0,4 и 3,3 кВт·ч на 1 м³ соответственно. Таким образом, производительность РТК является величиной изменчивой и зависящей от множества факторов, например от свойств объектов, режимов эксплуатации техники, навыков оператора и др.

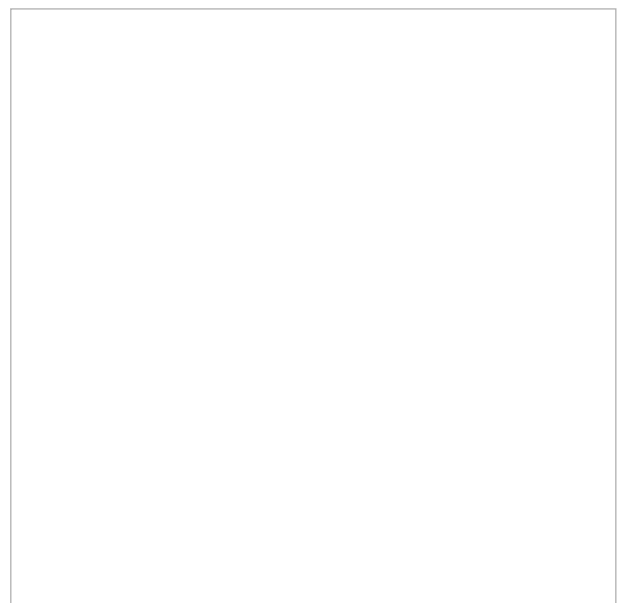


Рис. 7. Процесс демонтажа высотных колонн РОИН РТС Р-100

Испытания в режиме захвата и манипулирования проводились для РТК Бетонолом-2000, так как производителем предоставлено соответствующее навесное оборудование — гидравлический пинцетный захват разработки ООО «Роботехникс» (рис. 8).

С целью демонстрации возможностей выполнения точных операций с использованием захвата перемещались различные мелкие предметы, чувствительные к силе сжатия (рис. 8). При испытаниях задействовались приводы вращения башни, сгибания стрелы и ротатор захвата. Потребляемая мощность РТК составляла в среднем 5,3 кВт, что свидетельствует о незначительном нагружении машины. Данное обстоятельство связано с относительно низкой интенсивностью работы при выполнении плавных манипуляций. Кинематические характеристики РТК Бетонолом-2000 допускают точное

Вывод из эксплуатации ОИАЭ



Рис. 8. Примеры тонких манипуляций с использованием гидравлического захвата

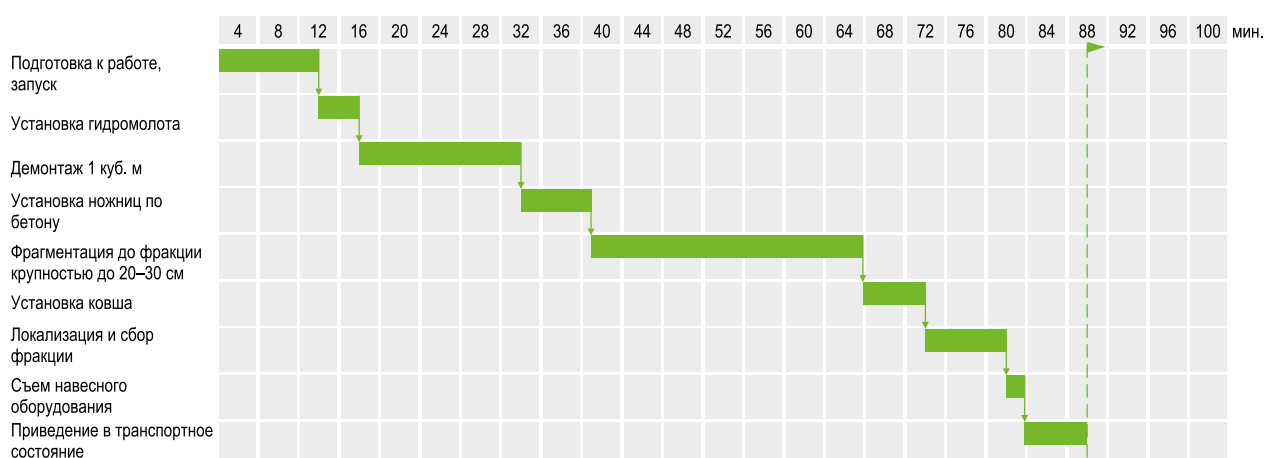


Рис. 9. Циклограмма типового сценария работы РТК

манипулирование мелкими объектами, но его мощность избыточна. Использование машины в данном режиме целесообразно лишь эпизодически, для постоянной эксплуатации уместен робот снаряженной массой менее 1 т.

Для составления циклограммы в качестве сценария рассмотрен типовой вариант (рис. 9) работы гидромолотом для разрушения 1,0 м³ строительных конструкций в целях создания проходки в стене с последующей перегрузкой образующегося щебня (строительного мусора) в мягкие контейнеры типа «биг-бэг».

Направления развития

В связи с тем, что рассмотренные в статье демонтажные РТК в большей степени ориентированы на строительную и металлургическую отрасли, то требуется их некоторая адаптация под специфику задач ВЭ. По результатам испытаний выделены следующие направления развития:

I. Важным аспектом является безопасность эксплуатации РТК. Должна быть реализована

программа автоматического свертывания техники в случае необходимости эвакуации в штатных и нештатных ситуациях. В настоящее время электропитание всех испытанных демонтажных комплексов осуществляется через электрический кабель и стационарный электрический щит, что создает условия для зацепа предметов по пути следования РТК. Следует рассмотреть возможность использования автономного питания при сохранении массогабаритных параметров комплексов.

II. Расширение функциональных возможностей демонтажных РТК благодаря разработке линейки специализированного навесного оборудования, например, устройства механической дезактивации строительных конструкций с системой пылеподавления или пылеулавливания, резки крупногабаритных узлов оборудования, для затаривания в контейнер и герметизации упаковок с РАО и др. В первую очередь предлагается разрабатывать отсутствующие на рынке РФ, но востребованные для выполнения профильных задач ВЭ, позиции навесного оборудования.

Также целесообразно оценить возможности создания типового навесного оборудования как достойной альтернативы импортным устройствам.

III. Видится перспективным применение систем дистанционной замены навесного оборудования, позволяющих оператору осуществлять замену рабочего инструмента с пульта управления без физического контакта с демонтажным комплексом и навесным оборудованием. В предоставленных к испытаниям машинах РОИН РТС Р-100 и Бетонолом-2000 данная функция не реализована, поэтому целесообразно предусмотреть наличие переходной плиты, а также изучить возможность выполнения операций с применением робота-помощника более легкого класса.

IV. Рассмотрение технических решений по защите оборудования РТК или усовершенствованию его конструкций с целью минимизации зон локализации пыли и обеспечения выполнения бесконтактной дезактивации растворами. Следует учитывать, что вблизи двигателя происходит утрамбовка пылевой фракции, впоследствии не поддающейся удалению без вмешательства оператора.

V. Одной из первоочередных задач будет являться определение наиболее востребованных и ориентированных на широкий спектр задач массогабаритных характеристик машин с учетом того, что разработка универсального РТК принципиально невозможна. Как минимум представляется необходимым разделение техники по типу выполняемых функций: грубые операции — использование гидромолота, ножниц по бетону и др.; тонкие операции, требующие точности позиционирования рабочего инструмента. Данный аспект влияет и на полезную нагрузку РТК, и на конструктивное исполнение гидравлической системы. Интересны комплексы с уменьшенными массогабаритными характеристиками приблизительно в 1,5 раза относительно рассмотренных в настоящей работе при сохранении или незначительном снижении допустимой массы полезной нагрузки.

Заключение

Результаты испытаний демонтажных РТК отечественного производства РОИН РТС Р-100 (АО МГК «ИНТЕХРОС», Воронеж) и Бетонолом-2000 (ООО «Роботехникс», Мытищи) в реальных условиях Площадки подтвердили работоспособность и заявленную функциональность машин. На текущий момент видится реальная перспектива их применения при ВЭ ЯРОО.

При проведении испытаний определены факторы, влияющие на эффективность применения РТК. Следует отметить, что основным из них является квалификация оператора. Показано, что производительность — величина достаточно волатильная, зависящая от условий внешней среды, исходной конфигурации объектов, вида выполняемых операций и др. Таким образом, сохраняется значительное количество неопределенностей для достоверной оценки стоимости выполнения операций с использованием РТК, поэтому при планировании работ по ВЭ ЯРОО следует учитывать данное обстоятельство.

С высокой долей вероятности весомым аргументом к более масштабному применению РТК будет являться безопасность персонала. На взгляд авторов, к безусловным предпосылкам можно отнести:

- мощности дозы в рабочей зоне, не позволяющие организовать в ней ритмичную работу без частых смен персонала, абсолютный объем таких работ не велик, но имеется;
- риски, не связанные с радиационными факторами, например угроза обрушения ветхих конструкций, а также образование вредных аэрозолей в процессе демонтажа элементов, содержащих асбест и другие вредные химические вещества (ВХВ), требующие применения средств индивидуальной защиты;
- множественные факторы воздействия в рабочей зоне, включая физические, химические, биологические и психофизиологические, оценка совокупного потенциального ущерба от которых достаточно сложна.

В дальнейшем целесообразно испытать в релевантных условиях существующие в организациях Госкорпорации «Росатом» РТК зарубежных марок в целях проведения сравнительного анализа, основанного на практических результатах исследований, итоги которых позволят определить и в последствии реализовать конкурентные преимущества российской техники.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного контракта от 25.05.2023 № Д.4ш.244.20.23.1082 «Нормативное, техническое и информационное обеспечение реализации Программы в целях обоснования принятия управленческих решений для повышения эффективности Программы» в обеспечение мероприятия «Мониторинг эффективности реализации программных мероприятий, включая вариантное прогнозирование состояния ядерной и радиационной безопасности на долгосрочный период, нормативное и информационное обеспечение реализации Программы».

Авторы выражают благодарность руководству ФГУП «РАДОН» и его Московского филиала за обеспечение возможности проведения испытаний на территории предприятия.

Литература

1. 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.

2. Кузнецов А. Ю., Бочаров К. Г., Хлебников С. В., Верещагин И. И. Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации ядерных радиационно опасных объектов АО «ВНИИИМ» // Ядерная и радиационная безопасность. 2020. № 4 (98). С. 13–24. DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.002.

3. Волков В. Г., Зверков Ю. А., Колядин В. И. и др. Вывод из эксплуатации реактора МР в РНЦ «Курчатовский институт» // Энергия: экономика, техника, экология. 2010. № 2. С. 18–23.

4. Голубев С. В., Поляков И. В. Подходы к демонтажу и фрагментации конструкций и оборудования при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии // Экстремальная робототехника. 2020. № 1 (31). С. 118–124.

5. Волкович А. Г., Колядин В. И., Лемус А. В. и др. Демонтаж строительных конструкций в зале реактора

МР // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 22–29. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-22-29.

6. Арутюнян Р. В., Боровой А. А. Извлечение ядерного топлива из аварийных реакторов (Чернобыль и Фукусима). Под общ. ред. акад. РАН Е. П. Велихова. — М. : НИЦ «Курчатовский институт», 2019. 186 с.

7. Волков В. Г. и др. Применение дистанционно управляемых механизмов в целях снижения радиационного воздействия на персонал // Атомная энергия. 2012. Т. 113. № 5. С. 285–289.

8. Власов Д. Н. и др. Вывод из эксплуатации хранилищ РАО Мурманского отделения филиала «Северо-западный территориальный округ» ФГУП «РосРАО» // Радиоактивные отходы. 2020. № 2 (11). С. 17–24. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-2-17-24.

9. Тинин В. В., Зозуля Д. В., Лачканов Е. В., Дахно А. С. Робототехника, применяемая на модуле фабрикации и рефабрикации плотного смешанного уран-плутониевого топлива опытно-демонстрационного энергокомплекса АО «СХК». Вывод из эксплуатации ЯРОО как драйвер рынка робототехники в России и в мире // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т. 11. № 2. С. 153–160. DOI: 10.31776/RTSJ.11209.

10. Каталог АО МГК ИНТЕХРОС. Робототехника, гидравлика, электроника. Меняя мир технологий. 51 с.

11. На «Маяке» к выводу из эксплуатации объектов советского ядерного наследия приступят роботы. — URL: <https://фцп-ярб.пф/society/news/na-mayake-k-vyvodu-iz-ekspluatatsii-obektov-sovetskogo-yadernogo-naslediya-pristupyat-roboty/> (дата обращения: 21.05.2024).

Информация об авторах

Каленова Майя Юрьевна, кандидат технических наук, руководитель проекта, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: MYKalenova@ibrae.ac.ru.

Кузнецов Иван Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: kuznetsov@ibrae.ac.ru.

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

Перов Андрей Валерьевич, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: perov@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.

Библиографическое описание статьи

Каленова М. Ю., Кузнецов И. В., Иванов А. Ю., Перов А. В., Ильина О. А. К вопросу практического применения демонтажных робототехнических комплексов отечественного производства для решения задач вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов // Радиоактивные отходы. 2024. № 4 (29). С. 42–52. DOI: 10.25283/2587-9707-2024-4-42-52.

ON THE PRACTICAL APPLICATION OF RUSSIAN-MADE DISMANTLING ROBOTIC COMPLEXES ADDRESSING THE CHALLENGES IN THE DECOMMISSIONING OF RADIATION HAZARDOUS FACILITIES

Kalenova M. Yu., Kuznetsov I. V., Ivanov A. Yu., Perov A. V., Ilyina O. A.

Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on October 9, 2024

The article evaluates the current use of robotic systems (RS) in the decommissioning of a legacy radiation hazardous facility and specifies the aspects restricting their large-scale implementation. The article describes the tests of the ROIN RTS R-100 and Betonolom-2000 dismantling systems manufactured in the Russian Federation at the Moscow branch of FSUE RADON that confirmed the operability of the equipment and the high potential for its further implementation given proper adaptation to the decommissioning tasks at hand. The paper specifies the technical parameters for various operations and presents the calculated performance indicators for the hydraulic hammer. It provides recommendations on further efforts that are expected to enhance the efficiency of the equipment and were formulated based on the practical results achieved to date. The paper notes that the RS efficiency is influenced by numerous factors with the operator's qualifications and skills being of greatest importance, which should be considered in the decommissioning work planning. It highlights the prerequisites for further RS introduction considering the achieved safety level and lower negative impact of harmful production factors on the personnel.

Keywords: dismantling, robotic systems, nuclear decommissioning, in-situ testing, efficiency assessment, hydraulic attachments, operator's qualification, radioactive waste.

This study was implemented under the state contract of May 25, 2023 No. D.4sh.244.20.23.1082 Regulatory, Technical and Information Support of the Program Providing Rational for the Management Decisions Contributing to Higher Program Efficiency in support of the event Monitoring the Efficiency of Program Activities Including Variant-based Forecasts Regarding the Long-Term Nuclear and Radiation Safety, Regulatory and Information Program Support.

The authors express their gratitude to the management teams of FSUE RADON and its Moscow branch that provided us with the opportunity to perform the tests on the territory of the enterprise.

References

1. Tikhonova A. A., Samoilov A. A., Ilyina O. A., Ivanov A. Yu., Belousov S. V., Sergunin A. P., Stupin R. S., Grebneva A. D. Osobennosti protsessa poiska i vnedreniya novykh tekhnologicheskikh resheniy po vyvodu iz ekspluatatsii ob"ektov yadernogo naslediya i obrashcheniyu s obrazuyushchimisya pri etom radioaktivnymi otkhodami [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]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2022, no. 4 (21), pp. 90–102. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-90-102.
2. Kuznetsov A. Y., Bocharov K. G., Khlebnikov S. V., Vereshchagin I. I. Obespechenie radiatsionnoy bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii yadernykh radiatsionno opasnykh ob"ektov AO "VNIINM" [Ensuring radiation safety during decommissioning of nuclear radiation hazardous facilities JSC "VNIINM"]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost — Nuclear and Radiation Safety*, 2020, no. 4 (98), pp. 13–24. DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.002.
3. Volkov V. G., Zverkov Yu. A., Kolyadin V. I. et al. Vyvod iz ekspluatatsii reaktora MP v RNTS "Kurchatovskiy institut" [MP reactor decommissioning in the NRC Kurchatov Institute]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya — Energy: economics, technology, ecology*, 2010, no. 2, pp. 18–23.
4. Golubev S. V., Polyakov I. V. Podkhody k demontazhu i fragmentatsii konstruktsiy i oborudovaniya pri vyvode iz ekspluatatsii ob"ektov ispol'zovaniya atomnoy energii [Approaches to the dismantling and fragmentation of the structures and equipment during nuclear decommissioning]. *Ekstremal'naya robototekhnika — Extreme Robotics*, 2020, no. 1 (31), pp. 118–124.
5. Volkovich A. G., Kolyadin V. I., Lemus A. V. et al. Demontazh stroitelnykh konstruktsiy v zale reaktora MR [Dismantlement of Building Structures in MR Reactor Hall]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2020, no. 4 (13), pp. 22–29. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-22-29.

6. Arutyunyan R. V., Borovoy A. A. *Izvlecheniye yadernogo topliva iz avariynykh reaktorov (Chernobyl' i Fukushima)* [Nuclear Fuel Removal from Damaged Reactors (Chernobyl and Fukushima)]. Under gen. ed. of RAS Member E. P. Velikhov. Moscow, NRC Kurchatov Institute Publ., 2019. 186 p.

7. Volkov V. G. et al. *Primeneniye distantsionno upravlyayemykh mekhanizmov v tselyakh snizheniya radiatsionnogo vozdeystviya na personal* [Use of Remote Control Machines for Reducing of Radiation Loads on Personnel]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2012, vol. 113, no. 5, pp. 285—289.

8. Vlasov D. N. et al. *Vyvod iz ekspluatatsii khranilishch RAO Murmanskogo otdeleniya filiala "Severozapadnyy territorialnyy okrug" FGUP "RoSRAO"* [Decommissioning Radioactive Waste Storage Facilities of FSUE RosRAO's Murmansk Department Branch in the North-Western Territorial District]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2020, no. 2(11), pp. 17—24. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-2-17-24.

9. Tinin V. V., Zozulya D. V., Lachkanov E. V., Dakhno A. S. *Robototekhnika, primenyayemaya na module fabrikatsii i refabrikatsii plotnogo smeshannogo*

uran-plutoniyevego topliva opytno-demonstratsionnogo energokompleksa AO "SKHK". Vyvod iz ekspluatatsii YAROO kak drayver rynka robototekhniki v Rossii i v mire [Robotics applied in the module designed for the fabrication and refabrication of dense mixed uranium-plutonium fuel of the experimental and demonstration power complex at SCC. Nuclear decommissioning as a driver for the Russian and global robotics market]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika — Robotics and technical cybernetics*, 2023, vol. 11, no. 2, pp. 153—160. DOI: 10.31776/RTCJ.11209.

10. *Katalog AO MGK INTEKHROS. Robototekhnika, gidravlika, elektronika. Menyaya mir tekhnologiy* [Catalog of JSC MGC INTEKHROS. Robotics, hydraulics, electronics. Changing the world of technology]. 51 p.

11. *Na "Mayake" k vyvodu iz ekspluatatsii ob'ektov sovetskogo yadernogo naslediya pristupyat roboty* [Robots will begin decommissioning Soviet nuclear heritage facilities at Mayak] — URL: <https://ftsp-yarb.rf/society/news/na-mayake-k-vyvodu-iz-ekspluatatsii-obektov-sovetskogo-yadernogo-naslediya-pristupyat-roboty/> (accessed on: 21.05.2024).

Information about the authors

Kalenova Maya Yurievna, Candidate of Technical Sciences, Project Manager, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: MYKalenova@ibrae.ac.ru.

Kuznetsov Ivan Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: kuznetsov@ibrae.ac.ru.

Ivanov Artyom Yurievich, Acting Head of the Department, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

Perov Andrey Valerievich, engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: perov@ibrae.ac.ru.

Ilyina 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.

Bibliographic description

Kalenova M. Yu., Kuznetsov I. V., Ivanov A. Yu., Perov A. V., Ilyina O. A. On the practical application of Russian-made dismantling robotic complexes addressing the challenges in the decommissioning of radiation hazardous facilities. *Radioactive Waste*, 2024, no. 4 (29), pp. 42—52. DOI: 10.25283/2587-9707-2024-4-42-52. (In Russian).