

Утверждаю  
Генеральный директор  
АО «ВНИИНМ»

Л.А. Карпюк

23.12.2019 г.



### Отзыв ведущей организации

#### **Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А. А. Бочвара**

по диссертации соискателя Семенова Сергея Геннадьевича на тему  
«Разработка научно обоснованной методологии вывода из эксплуатации  
исследовательских ядерных реакторов и ее практическое применение» на  
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование,  
эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

#### **Актуальность**

Диссертационная работа Семенова Сергея Геннадьевича посвящена разработке и практической апробации методологии вывода из эксплуатации (далее – ВЭ) исследовательских ядерных реакторов, основанной на принципах обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды и оптимизации дозовых нагрузок персонала. Актуальность темы диссертационного исследования для науки и практики определяется предстоящими масштабными работами по выводу из эксплуатации промышленных и энергетических реакторов, а также исследовательских реакторов, расположенных в крупных городских агломерациях. Решение данной задачи требует разработки общих методологических подходов к ВЭ исследовательских ядерных установок (далее ИЯУ) путем систематизации, критического анализа, верификации и

адаптации национального и международного опыта проведения работ с учетом специфических характеристик объектов и условий проведения работ.

### **Основные научные результаты и новизна**

Разработка комплексной методологии, позволяющей сформировать оптимальную последовательность действий при ВЭ ИЯУ с применением различных технических решений, выбор которых определяется характеристиками выводимых из эксплуатации объектов, является основным результатом диссертационной работы. Определяющей особенностью предлагаемой автором методологии является широкое применение дистанционно-управляемых механизмов (далее – ДУМ) и методов дистанционной диагностики радиационной обстановки для выполнения различных видов работ, особенно в условиях чрезвычайно интенсивных полей ионизирующих излучений, потенциально создающих повышенные радиационные риски для человека. На основании проведенного автором анализа установлено, что современный уровень развития ДУМ позволяет проводить практические работы по ВЭ ИЯУ, а именно: радиационное обследование, включая определение местоположения интенсивно излучающих объектов, демонтаж оборудования установок и т.д. практически без прямого присутствия человека в интенсивных радиационных полях. Подобные методики и технологии позволяют существенно снизить дозовые нагрузки на персонал и были впервые применены при выполнении работ по ВЭ объектов использования атомной энергии на территории России.

Автором сформулированы требования к применяемым ДУМ и их оснащению дополнительными измерительными системами для увеличения надежности и достоверности получаемых результатов радиационного обследования с учетом специфики работы по ВЭ ИЯУ.

Помимо технологий, направленных на снижение радиационных рисков персонала, методология, разработанная автором, включает также подходы,

направленные на повышение эффективности деятельности по ВЭ ИЯУ. Так, например, для минимизации затрат на обращение с радиоактивными отходами, образующимися при ВЭ ИЯУ, разработана технология сортировки отходов по удельной активности и на ее основе создан специализированный стенд, позволяющий сепарировать высокоактивные части оборудования, удаление которых существенно облегчало обращение в оставшимися частями загрязненных объектов.

### **Значимость полученных результатов**

Методология ВЭ ИЯУ, разработанная автором диссертации, успешно апробирована как при разработке проектов ВЭ реакторов НИЦ «Курчатовский институт» МР и РФТ, так и при их непосредственном применении. Результаты позволили существенно снизить как численность персонала, выполняющего работы, так и годовые индивидуальные дозы работников, занятых в радиационно-опасных операциях. Используемые технологии «холодной резки» и пылеподавления, применение систем локальной вентиляции, позволили существенно снизить объемную концентрацию радиоактивных аэрозолей в воздушной среде при проведении работ и, следовательно, минимизировать радиационное воздействие на население и окружающую среду.

Особое значение данной работы заключается в том, что создание и апробация системного, выверенного практикой подхода к применению автоматизированных систем при ВЭ ЯРОО завершилось к тому моменту, когда практически создан рынок промышленных робототехнических систем различного назначения и типоразмеров. В сложившихся реалиях результаты данной диссертационной работы позволят оптимизировать применение ДУМ и достичь необходимого уровня безопасности выполняемых работ на научно обоснованной базе.

Помимо вышеперечисленного необходимо отметить, что к настоящему времени лидеры рынка ВЭ ЯРОО подошли к созданию 3D моделей объектов, обеспечивающих создание цифровых сред, обеспечивающих как компьютерное проектирование, создание моделей рабочих процессов, так и управление робототехническими комплексами. И в данной парадигме значение диссертационной работы, создающей основу развития отечественных цифровых сетей при ВЭ ЯРОО, трудно переоценить.

Разработка и развитие подобных системных подходов и внедрение новых технологий позволит вывести работы по планированию и применению проектов по ВЭ объектов с высокими уровнями радиационного загрязнения, на качественно новый уровень, повысить безопасность проводимых работ и экономическую эффективность при демонтаже ядерных и радиационно-опасных объектов (далее – ЯРОО), обращении с РАО и реабилитации загрязненных объектов и территорий.

### **Личный вклад автора**

Выполненный автором анализ современных подходов к ВЭ ОИАЭ и международного опыта по ВЭ ИЯУ, позволил сформулировать основные требования к разрабатываемой методологии и её составляющим, методам дистанционной диагностики радиационной обстановки, ДУМ, технологиям пылеподавления. В соответствии с этими требованиями, автором был обоснован выбор конкретных методик, моделей ДУМ и дополнительного навесного оборудования, которые успешно применялись в процессе ВЭ ИЯУ в НИЦ «Курчатовский институт».

Семенов С.Г. непосредственно принимал участие и организовывал проведение научных экспериментов и практических работ по ВЭ реакторов МР и РФТ, в том числе экспериментов по радиационному обследованию помещений реакторов на стадии комплексного инженерно-радиационного

обследования, разработке проекта их ВЭ, в процессе работ по демонтажу оборудования и дезактивации радиационно-загрязненных объектов.

Автор самостоятельно провел настоящее исследование – от обзора литературы по проблеме вывода из эксплуатации ИЯУ до разработки оригинальной методологии вывода из эксплуатации исследовательских ядерных реакторов и ее информационных и инструментальных средств: методов, технологий ликвидации негативных последствий функционирования исследовательских ядерных реакторов НИЦ «Курчатовский институт», написания положений, выводов и оценки результатов диссертационной работы.

Автором лично получены следующие наиболее существенные результаты:

- разработана и применена в практических работах методология вывода из эксплуатации ИЯУ, основанная на принципах обеспечения радиационной безопасности;
- обоснован выбор дистанционно управляемых механизмов типа «BROKK» для работ в интенсивных полях ионизирующих излучений. Разработаны научные рекомендации и технологии их применения при работах по ликвидации временных хранилищ РАО на территории НИЦ «Курчатовский институт». Предложены и практически реализованы технологии демонтажа хранилищ РАО, омоноличенных высокопрочным бетонным раствором, с выбранных дистанционно управляемых средств. Предложены технологии извлечения, сортировки, фрагментации и упаковки пеналов с высокоактивными отходами. Создан стенд, включая его проектирование и монтаж, для выполнения этих работ;
- организовано и проведено с его участием радиационное обследование реактора МР, оборудования девяти петлевых установок (~500 единиц оборудования) и реактора РФТ с использованием методов дистанционной диагностики и ДУМ, оснащенных гамма-камерами различного типа;

- обоснованы технологии использования дистанционно-управляемых механизмов при демонтаже оборудования реакторов МР и РФТ в процессе вывода их из эксплуатации;
- разработаны методики и выполнены работы по сортировке отдельных частей оборудования по уровням суммарной активности, измерения распределения активности по длине отдельных каналов;
- предложены и апробированы технологии демонтажа радиоактивного оборудования и загрязненных строительных конструкций в помещениях исследовательских реакторов МР с использованием ДУМ.

### **Достоверность результатов**

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается их сопоставлением с данными, полученными другими исследователями, а также опытом их внедрения при проведении практических работ по ВЭ исследовательских реакторов МР и РФТ НИЦ «Курчатовский институт».

Основные результаты работы были многократно представлены на международных и российских научных конференциях, заседаниях профильных отраслевых НТС, опубликованы в ведущих отраслевых и научных журналах и широко известны в профессиональной среде.

### **Замечания и рекомендации по работе**

В качестве замечаний и рекомендаций по работе стоит отметить следующее:

1) В диссертационной работе, направленной, в том числе на повышение уровня безопасности при проведении работ в условиях высоких уровней ионизирующего излучения, приведен подробный обзор российских и международных норм и правил обеспечения безопасности. К сожалению, в данном обзоре нет отсылки к ранее широко применявшемуся принципу



ALARA и причинам его трансформации к более используемому сейчас принципу оптимизации радиационной защиты и безопасности (Нормы безопасности МАГАТЭ № GSR Part 3).

2) Вывод Главы 1 о том, что высокоактивные элементы демонтированного оборудования следует фрагментировать под защитным слоем воды не представляется настолько очевидным. Это, безусловно, справедливо для условий ИЯУ НИЦ «Курчатовский институт», где есть готовая инфраструктура, но для условий ВЭ других ЯРОО, особенно для комбинатов по переработке ОЯТ, такое решение может и не быть оптимальным.

3) В работах по ВЭ ИЯУ характеристика РАО проводилась на основании удельной активности основных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ), остальные радионуклиды, имеющие существенно более низкие удельные активности, определялись по корреляционным коэффициентам (радионуклидный вектор). Радионуклидный вектор определялся на стадии извлечения РАО, упаковка РАО в контейнеры проводилась в местах извлечения. Метод радионуклидного вектора получил широкое применение при ВЭ ЯРОО с однотипными видами загрязнения (например АЭС), где погрешности измерений и математической обработки результатов на основании эталонных измерений сведены к минимуму. В случае ВЭ ИЯУ и хранилищ РАО от выполнения исследовательских работ, практически отсутствуют однотипные загрязнения, что вносит большую степень погрешности в результат конечных измерений, т.к. различные компоненты загрязненного оборудования и строительных конструкций могут существенно различаться по набору загрязняющих радионуклидов, что может вносить неопределенность в результаты измерения и паспортизации содержимого отдельного контейнера. Примером может служить информация, приведенная на странице 168 диссертации (измерения показали неоднородное загрязнение оборудования, например, отдельные участки значительно загрязнены радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$ , но они не совпадают с

участками, загрязненными  $^{60}\text{Co}$ ). В разработанной методологии этим вопросам уделено недостаточное внимание.

4) При выполнении исследований был разработан широкий набор вспомогательных средств, в частности, оригинальное навесное оборудование для ДУМ. Высокая эффективность такого оборудования предполагает, что его использование в других работах по ВЭ может дать существенное увеличение эффективности работ. В связи с этим представляется целесообразным оформить техническую документацию на это оборудование с целью возможности его тиражирования для других проектов ВЭ.

5) В отдельных местах встречаются неточности и опечатки в тексте диссертации и автореферата.

Указанные выше недостатки не снижают ценность и практическую значимость результатов диссертационного исследования.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов,**

Разработанную оригинальную методологию и опыт применения ДУМ целесообразно использовать при разработке проектов по ВЭ ИЯУ и при возможности провести ее апробацию на иных ЯРОО, в том числе на предприятиях топливной компании ТВЭЛ.

#### **Заключение**

Автореферат соответствует диссертации, в нем в достаточной мере отражено содержание работы, в том числе раскрыта актуальность, цель, научная новизна, практическая значимость работы, представлены сведения об апробации работы, публикациях и личном вкладе автора, основные положения, выносимые на защиту. Содержание глав диссертации отражает суть решаемой проблемы и предлагаемые автором пути решения сформулированных задач.



Диссертационная работа «Разработка научно обоснованной методологии вывода из эксплуатации исследовательских ядерных реакторов и ее практическое применение» является завершенным научно-квалификационным трудом, соответствует паспорту специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», отвечает требованиям установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а соискатель Семенов Сергей Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Отзыв подготовлен на основании заключения, сделанного в результате обсуждения диссертации на заседании Отделения П-260, протокол заседания № 6 от 12.12.19.

Начальник отдела П-261  
Кандидат биологических наук

Инженер-технолог 1 категории П-262

Подписи Инженер-технолог 1 категории Верацкий ИИ заверяю

Ученый секретарь АО «ВНИИНМ»

