

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, главного эксперта АО «Прорыв» Грачева Алексея Фроловича на диссертационную работу Легких Кристины Геннадьевны «Обоснование применения пирохимической и газофазной технологий переработки радиоактивных щелочных жидкометаллических теплоносителей (натрий, натрий-калий) для решения практических задач при выводе из эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»

Актуальность темы диссертационного исследования

Вывод из эксплуатации объектов использования атомной энергии является экологически важной и законодательно контролируемой задачей. Актуальность данной темы продиктована целесообразностью последующего использования сооружений объекта использования атомной энергии (коричневая лужайка) и реабилитации территорий с последующим включением данной территории в экологический фонд (зеленая лужайка).

Физико-химические аспекты, заложенные в основу создаваемых технологий переработки накопленных РАО, определяют применимость процессов и их соответствие утвержденным нормам. Иммобилизация отработавших щелочных теплоносителей на сегодняшний день не имеет принятого способа, соответствующего требованиям нормативной документации, а дальнейшее хранение радиоактивного пожаровзрывоопасного теплоносителя не всегда соответствует требованиям радиационной безопасности. Поэтому разработка технологий вывода из эксплуатации быстрых реакторов с жидкометаллическим теплоносителем является практической задачей, актуальной как для атомной энергетики России (реакторы БР-10, БОР-60, БН-600), так и для атомной отрасли других стран: реакторы Монджу, (Япония), Феникс и Суперфеникс (Франция), БН-350 (Казахстан).

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В описании экспериментальной части работы подробно изложен химизм процесса твердофазного окисления отработавшего щелочного теплоносителя

на примере теплоносителей (натрий, натрий-калий, натрий-калий-ртуть) ИР БР-10. Окисление протекает посредством большего сродства к кислороду щелочного металла. Щелочной металл (натрий, натрий-калий) является акцептором кислорода из оксидов железа, кальция, алюминия, цинка и меди, входящих в состав шлака медеплавильного производства. Данное взаимодействие сопровождается выделением большого количества тепла, приводящего к процессу спекания полученного расплава с оксидом кремния. В диссертационной работе приводятся данные, указывающие на соответствие полученного продукта переработки щелочного теплоносителя критериям приемлемости к длительному хранению и захоронению.

В диссертационной работе экспериментально обосновано применение способа твердофазного окисления щелочного теплоносителя к иммобилизации сплава натрий-калий-ртуть. Показано распределение ртути в минералоподобном продукте переработки сплава и сорбционном фильтре. Приведены характеристики продукта переработки сплава, показано их соответствие основным критериям приемлемости.

В работе рассмотрена задача нейтрализации недренируемых остатков натрия, которая актуальна не только для реализации мероприятий по выводу из эксплуатации, но и для отмывки оборудования от остатков щелочного теплоносителя на действующих АЭС типа БН. Подробно описан процесс окисления щелочного металла газовой смесью, состоящей из закиси азота и углекислого газа. Негативный аспект, заключающийся в спонтанном разложении гипонитрита натрия с высоким тепловым эффектом, устраняется путем ввода в смесь реагента в виде углекислого газа.

Ход экспериментов, изложенных в диссертационной работе, построен логично, представлены экспериментальные данные, проведено их сравнение с известными данными.

Полученных данных достаточно для обоснования предлагаемых технологий иммобилизации щелочных теплоносителей.

Изложение проведенной работы, поставленных задач, актуальности данных исследований и анализ результатов экспериментов выполнены достаточно подробно. Выводы отвечают поставленным целям.

Достоверность и новизна научных предложений, выводов и рекомендаций

Приведенные в работе данные отражают полноту проведенных исследований, содержат подробное описание экспериментальных образцов с указанием их состава и свойств; приведена кинетика выщелачивания

минералоподобного продукта переработки радиоактивных щелочных теплоносителей (натрий, натрий-калий, натрий-калий-ртуть). Новизна работы подтверждена наличием патента на способ перевода оборудования с недренируемыми остатками щелочного металла во взрывопожаробезопасное состояние и устройство его осуществления.

Достоверность информации обеспечивается использованием аттестованных методик и современных методов анализа с использованием высокоточного оборудования.

Значимость полученных результатов для науки и техники

Требования к качеству отвержденных РАО, подлежащих длительному хранению, регламентируются нормативной базой РФ, а именно РБ-155-20 «Рекомендации по порядку, объему, методам и средствам контроля радиоактивных отходов в целях подтверждения их соответствия критериям приемлемости для захоронения». Так же обеспечение радиационной безопасности окружающей среды, персонала предприятий, населения и будущих поколений строго контролируется в соответствии с ФЗ-170 «Об использовании атомной энергии» и ФЗ-3 «О радиационной безопасности населения». В соответствии с данной нормативной базой любые РАО обязаны быть переведены в состояние, пригодное для длительного хранения. Рассуждение о консервации РАО, в том числе пожаровзрывоопасных радиоактивных щелочных теплоносителей с целью экономии финансовых средств или ожидания возможности вторичного использования нецелесообразны. В диссертационной работе приведены экспериментальные данные, подтверждающие технологическую состоятельность способов иммобилизации щелочных теплоносителей и их недренируемых остатков. Приведено экономическое обоснование переработки щелочного теплоносителя способами твердофазного окисления и растворения щелочного металла в растворе щелочи с последующим отверждением. Показана не только технологическая, но и экономическая целесообразность применения метода твердофазного окисления щелочных РАО. Приведенный объем иммобилизованного щелочного теплоносителя ИР БР-10 в различных составах – натрий, натрий-калий, натрий-калий, ртуть – выделяет работу из ряда лабораторных исследований, подчеркивая масштабность решаемой задачи.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников из 56 наименований. Работа представлена на 109 страницах и содержит 40 иллюстрации и 16 таблиц.

Во **введении** раскрыта актуальность темы, определены цели и задачи работы, сформулированы основные положения, обладающие научной новизной, практической значимостью и выносимые на защиту, изложен личный вклад автора.

В **главе 1** обзор литературных источников довольно обширен и содержит анализ методов иммобилизации отработавшего ЩЖМТ: растворение в органических растворителях, распыление щелочного металла в атмосферу закиси азота, твердофазное окисление шлаком медеплавильного производства, растворение в 10 % натриевой щелочи (технология NOAH).

В **главе 2** рассмотрена специфическая задача обращения с отработавшим ЩЖМТ, загрязненным ртутью, и локализация выделяющейся ртути. Основными научно-техническими результатами, представленными в главе 2, являются: экспериментально подтверждено применимости пиролюзитового фильтра в составе стенда МАГМА-ТФО; определен класс токсичности продукта ТФО, экспериментально установлен механизм сорбции паров ртути пиролюзитом – хемосорбция; экспериментально доказана стабильность сорбционного комплекса Hg_2MnO_2 в интервале температур до 450°C.

В **главе 3** проведено обоснование приемлемости продукта ТФО натрия и натрий-калий-ртути к длительному хранению и захоронению. Определены механическая прочность, водостойкость и скорости выщелачивания по цезию-137 продуктов ТФО отработанного щелочного ЖМТ (Na, Na-K), отвержденного различными способами (МАГМА-ТФО и МИНЕРАЛ) и продукта ТФО сплава натрий-калий-ртути.

В **главе 4** представлен анализ методов нейтрализации остатков ЩЖМТ в оборудовании ЯЭУ типа БН. Рассмотрены методы отмывки оборудования, загрязненного радиоактивным ЩЖМТ: отмывка паром, отмывка органическими растворителями, газофазное окисление. Отражены преимущества и недостатки представленных методов. Проведена модернизация метода газофазного окисления (ГФО) недренируемых остатков ЩЖМТ для перевода внутриконтурного оборудования в пожаровзрывобезопасное состояние.

В главе 5 приведена сравнительная оценка стоимости переработки РАО натрия первого контура способами ТФО и НОАН. Основными научно-техническими результатами, представленными в главе 5, являются: стоимость захоронения переработанного ЩЖМТ способом ТФО в 5 раз меньше стоимости захоронения цементного компаунда, полученного при реализации способа НОАН; предварительная очистка радиоактивного ЩЖМТ от цезия-137 позволяет получить компаунд, не являющийся РАО и не требующий особых условий хранения, учета и контроля; объем продукта ТФО в 2,5 раза больше исходного объема радиоактивного ЩЖМТ, объем цементного компаунда, полученного способом НОАН, в 15 раз больше исходного объема ЩЖМТ, что требует строительства дополнительных зданий для хранения.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Стил ь изложения в целом четкий и ясный. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

Замечания

1. Рекомендуется рассмотреть применение предложенных автором технологий для сооружаемого исследовательского реактора МБИР.
2. Было бы актуальным привести в диссертации перечень задач дальнейших научно-исследовательских работ для развития и совершенствования предложенных технологий.

Замечания носят рекомендательный характер и не влияют на качество выполненной работы.

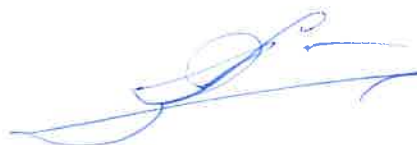
Диссертация К.Г. Легких представляет собой завершенную научно-квалификационную работу. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы. Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту научной специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Диссертация Легких Кристины Геннадьевны «Обоснование применения пирохимической и газофазной технологий переработки радиоактивных щелочных жидкометаллических теплоносителей (натрий, натрий-калий) для решения практических задач при выводе из эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах» удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. (ред. от 25.01.2024 г.) № 842.

Считаю, что соискатель Легких Кристина Геннадьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (технические науки).

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор, главный эксперт
акционерного общества «Прорыв»
госкорпорации Росатом
Грачев Алексей Фролович

«01» 08 2025 г.



А.Ф. Грачев

Акционерное общество «Прорыв» госкорпорации Росатом (АО «Прорыв»)
Адрес: 119607, г. Москва, Раменский бульвар, 1
Тел.: +7 (495) 380-35-76,
Электронная почта: info@proryv2020.ru

Подпись Грачева Алексея Фроловича заверяю
Главный технолог ПН «Прорыв»

Ю. С. Мочалов

