

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.1.077.01

созданного на базе акционерного общества

«Государственный научный центр Российской Федерации –

Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

(принадлежность - Госкорпорация «Росатом»)

по диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15 октября 2025 года № 19

О присуждении Легких Кристине Геннадьевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «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» по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность принята к защите 21 мая 2025 года (протокол № 13) диссертационным советом 75.1.077.01, созданным на базе акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (принадлежность - Госкорпорация «Росатом») (далее – АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»), расположенного по адресу: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, 1. Диссертационный совет создан приказом Минобрнауки России № 663/нк от 09.07.2024.

Соискатель Легких Кристина Геннадьевна, дата рождения – 19 сентября 1987 года.

В 2009 г. Легких К.Г. окончила Обнинский технический университет атомной энергетики (ИАТЭ) по направлению подготовки 04.03.01 – «Аналитическая химия». С 2012 г. по 2019 г. являлась соискателем ученой степени «кандидат технических наук» АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации. В 2025 г. была прикреплена к аспирантуре АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» для сдачи кандидатских экзаменов по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл и радиационная безопасность. Легких К.Г. сдала следующие кандидатские экзамены: иностранный язык (английский), оценка – отлично; история и

философия науки, оценка – отлично; специальная дисциплина, оценка – отлично. Справка о сдаче кандидатских экзаменов №224/5.01.01-08/49 выдана 19.02.2025 г. акционерным обществом «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского».

В период подготовки диссертации соискатель Легких Кристина Геннадьевна работала в Отделении ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». В настоящее время занимает должность начальника лаборатории.

Диссертация выполнена в Отделении ядерной энергетики АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

Научный руководитель – Смыков Владимир Борисович, кандидат технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации, руководитель направления отдела вывода из эксплуатации АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

Официальные оппоненты:

Грачев Алексей Фролович, доктор технических наук, профессор, главный эксперт акционерного общества «Прорыв» Госкорпорации Росатом;

Шадрин Андрей Юрьевич, доктор химических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора – директор направления радиохимии частного учреждения «Наука и инновации».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР») в своем положительном отзыве, подписанном заместителем председателя НТС РИК, заместителем начальника отделения РИК по научной работе – начальником физико-технического департамента, кандидатом технических наук А.В. Бурукиным, секретарём НТС РИК И.В. Киселевой, главным научным сотрудником – экспертом, доктором технических наук И.Ю. Жемковым, заместителем начальника ОРТ по науке и технологиям, кандидатом химических наук В.Н. Момотовым и утвержденном заместителем директора – научным руководителем АО «ГНЦ НИИАР», доктором техн. наук А.Л. Ижутовым указала, что диссертация Легких К.Г. соответствует паспорту специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность и отвечает требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

кандидата технических наук. Автор диссертационной работы, Легких Кристина Геннадьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано шесть научных статей в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России и международной базы данных Scopus. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на российских и международных конференциях (шесть докладов). Способ перевода оборудования с недренируемыми остатками щелочного металла во взрывопожаробезопасное состояние и устройство его осуществления запатентован.

В представленной диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Основные работы по теме диссертации:

1. Газофазное окисление как метод нейтрализации недренируемых остатков ЩЖМТ в оборудовании / В. Б. Смыков, **К. Г. Легких** // ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2022. – Вып. 4. – С. 145–148 (авторство не разделено);
2. Переработка теплоносителя первого и второго контуров при выводе из эксплуатации реактора БН-350 / В. Б. Смыков, А. В. Журин, **К. Г. Легких**, В. В. Алексеев, В. П. Жданов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 3. – С. 164–167 (авторство не разделено);
3. Особенности переработки сплава «натрий-калий», загрязненного ртутью / М. Х. Кононюк, **К. Г. Легких**, В. Б. Смыков // ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2023. – Вып. 2 – С.231–237 (авторство не разделено);
4. Инновационные технологии иммобилизации натриевого теплоносителя первых контуров реакторов на быстрых нейтронах и переработки ЖРО, образующихся в процессе их эксплуатации / **К. Г. Легких**, В. Б. Смыков // Атомная Энергия. – 2024. – Т. 137.– Вып. 1–2.– С.114–120(авторство не разделено);
5. Определение соответствия продукта твердофазного окисления отработавшего натриевого теплоносителя критериям приемлемости к длительному хранению / В. Б. Смыков, **К. Г. Легких**, Е. М. Трифанова, Е. А. Грушичева // ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2025. – Вып. 1. – С.225–231(авторство не разделено);

6. Оптимизация твердофазной технологии переработки РАО щелочных теплоносителей на полномасштабном образце установки МИНЕРАЛ-100/150» / В. Б. Смыков, В. В. Алексеев, **К. Г. Легких**, В. П. Жданов и др. // ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2025. – Вып.2. – С.235–243(авторство не разделено);
7. В. Б. Смыков, А. А. Пронин, **К. Г. Легких**. Способ перевода оборудования с недренируемыми остатками щелочного металла во взрывопожаробезопасное состояние и устройство его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2794139, МПК G21G 4/04, 2023 г.

На автореферат диссертации поступило шесть отзывов:

1. **Ермакова Александра Ивановича**, кандидата химических наук, главного эксперта АО «ТВЭЛ». Отзыв положительный, имеются замечания:

1) В тексте автореферата указано, что на рис.1 представлены химический и радионуклидный составы отработавших ЦЖМТ, однако, на рис.1 данные по радионуклидному составу отсутствуют. Утверждая, что цезий при реакции с компонентами шлака образует нелетучие алюмосиликаты и иммобилизуется в матрице конечного продукта, однако не приводится доказательств данного утверждения, например, измерением содержания цезия-137 в пиролюзитовых фильтрах.

2) В главе 2 констатируется только сам факт использования пиролюзитовых фильтров, однако не содержится никакой информации о режимах их использования в установке ТФО (температура, скорость газа и т.д.) и форме, в которой использовался пиролюзит, в связи с чем не ясно, какие показатели процесса адсорбции паров ртути оптимизировались автором работы в ходе испытания..

3) В главе 3 указан, что методом ТФО переработано $4,5\text{ м}^3$ сплава натрий-калий-ртуть, при этом не приведены данные по содержанию ртути в сплаве. Термин «захоронение в бетонный могильник» не используется в отношении ПЗРО той или иной конструкции. Не приведен состав модельных образцов компаунда переработки натрия технологией НОАН, показатели качества которых сравниваются с продуктами ТФО.

4) При оценке объемов цементного компаунда в случае применения технологии НОАН принято, что его удельный вес составляет $1,03\text{ г/см}^3$, в то время как этот показатель для отвержденных методом цементирования ЖРО составляет в среднем $1,7\text{--}1,8\text{ г/см}^3$. Таким образом, объем компаунда завышен по крайней мере в 1,5 раза. В таблице 4 и таблице 5 приведены без учета изменений, внесенных в ПП от 19.10.2012 №1069 постановлением Правительства от 29.10.2022 № 1929. В главе 5 заявлена оценка стоимости

переработки РАО натрия первого контура, по факту процессы переработки не рассматриваются, оцениваются только затраты на захоронение конечных продуктов переработки.

2. Рябкова Дмитрий Викторовича, кандидата технических наук, заместителя генерального директора по науке АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». Отзыв положительный, имеются замечания:

1) Одной из задач работы является «определение механической прочности и скорости выщелачивания цезия-137 из продукта твердофазного окисления отработавшего ЩЖМТ, отвержденного различными исполнениями данного способа (МАГМА-ТФО, МИНЕРАЛ) на соответствие требованиям НП-019-15». Помимо данных показателей качества, предъявляемых к цементным компаундам, в НП-019-15 также имеются водоустойчивость, показатель которой изучался в работе, а также устойчивость к термическим циклам, радиационная устойчивость и объем не вошедших в состав компаунда ЖРО, которые в работе не рассматривались. Помимо того, в НП-019-15 прописано, что необходимо изучать скорость выщелачивания радионуклидов как цезия-137, так и стронцию-90. Почему в качестве исследуемых показателей полученных матриц были выбраны лишь некоторые из НП-019-15?

2) На рисунке 1 отсутствует информация о радионуклидном составе отработавших щелочных теплоносителей, о чем указано в тексте.

3) Из автореферата не понятно, что и на основе каких матриц из себя представляют отвержденные продукты ТФО отработавшего ЩЖМТ.

4) На рисунке 2 приведены кинетики выщелачивания образцов отвержденных РАО для образцов МАГМА-ТФО, МИНЕРАЛ и цементного компаунда. При этом не понятно образец «цементный компаунд» это образец сравнения или образец, полученный по технологии НОАН.

3. Яснева Ивана Михайловича, кандидата химических наук, ведущего научного сотрудника ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Отзыв положительный, имеются замечания:

1) Для понижения класса токсичности отвержденных РАО с переработанным сплавом NaKНg, а также для предотвращения выхода ртути из продукта ТФО в защитный газ, оборудование и атмосферу было предложено использовать сорбционные фильтры на основе пиролюзита. В автореферате указано, что была произведена модернизация модуля МАГМА-ТФО, включая установку газоанализатора паров ртути в атмосфере. Для дополнительного подтверждения безопасности процесса стоило привести показания указанных датчиков или указать, что содержание паров ртути в атмосфере было меньше пределов обнаружения датчиков.

2) Второе положение, выносимое на защиту, сформулировано следующим образом: состав газовой смеси реагента, соотношение газов-реагентов в смеси и механизм нейтрализации газовой смесью недренируемых остатков ЩЖМТ. При этом по тексту автореферата следует, что соотношение газов-реагентов подбирается индивидуально для каждого случая. Следовало либо привести конкретные составы газовой смеси, либо диапазоны концентраций, либо механизм подбора оптимального состава, исходя из конкретных условий.

3) Для определения скорости выщелачивания образцы продукта ТФО ЩЖМТ измельчали, после чего отбирали необходимую фракцию для исследований? С какой целью это делалось? ГОСТ Р 52126-2003 допускает дробление материала, но накладывает дополнительные требования (проведение контрольного определения скорости выщелачивания нуклидов из дробленого образца материала с известной химической устойчивостью), в связи с невозможностью соблюдения соотношения объема контактного раствора и площади открытой поверхности образца, которое регламентируется данным стандартом.

4. **Николаева Артема Николаевича**, кандидата технических наук, руководителя УМЦ «Ядерная и радиационная безопасность» АНО ДПО «Техническая академия Росатома». Отзыв положительный, имеются замечания:

1) В таблице 3 представлено сравнение результатов по механической прочности и устойчивости к длительному выщелачиванию в воде, полученных для образцов продукта ТФО натрий и натрий-калий-ртути. Однако в НП-019-15 (Приложение 1) для цементного компаунда, есть еще как минимум четыре показателя качества которые необходимо проверить для обоснования возможности размещения отходов в специальных хранилищах.

2) Не очень понятно, какие именно шлаки медеплавильных производств (по химическому составу) использовали для изготовления шлакощелочного компаунда. Как эти шлаки отбирали и какие наиболее подходящие?

5. **Ананьева Ольга Александровна**, кандидата химических наук, доцента отделения биотехнологий Обнинский институт атомной энергетики — филиал «НИЯУ МИФИ». Отзыв положительный, имеются замечания:

1) Из автореферата не понятно насколько перспективна методика извлечения ртути из системы натрий-калий-ртуть. Будет ли указанная методика иметь практическую значимость для других стэндов.

2) Какой класс токсичности имели отработанные ЩЖМТ, загрязненные ртутью до извлечения ртути?

3) Диссертация охватывает достаточно широкий круг задач переработки щелочных жидкометаллических теплоносителей, личный вклад автора в работу коллектива специалистов требует уточнения.

6. **Донникова Владимира Евгеньевича**, заведующего Физической лабораторией Физико-технического отделения АО «ВТИ». Отзыв положительный, имеются замечания:

1) В автореферате приведены кинетики выщелачивания из матрицы компаунда цезия-137, но не приведены данные о выщелачивании стронция-90.

2) Не указано на основании каких данных делается вывод об отсутствии ртути в выбросах в атмосферу газовых продуктов реакции при переработке сплава натрий-калий-ртуть.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.т.н. А.Ф. Грачев и д.х.н. А.Ю. Шадрин являются признанными специалистами в области обращения с РАО.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР») является одним из ведущих научных институтов нашей страны, где осуществляются работы по проектированию и эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах с ЩЖМТ.

Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников АО «ГНЦ НИИАР», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан и экспериментально подтвержден способ переработки отработавшего щелочного жидкометаллического теплоносителя (ЩЖМТ), загрязненного ртутью, и локализации выделяющейся ртути для обеспечения радиационной и экологической безопасности при выводе из эксплуатации объекта ядерной техники БР-10. В процессе проведения работ доказана эффективность применения сорбционного пиролюзитового фильтра на газовой линии в составе модуля МАГМА-ТФО;

- разработан способ газофазного окисления недренируемых остатков ЩЖМТ для перевода реакторного оборудования в пожаровзрывобезопасное состояние;

- определены скорости выщелачивания цезия-137 из образцов продуктов твердофазного окисления отработавшего ЩЖМТ, отвержденного путем сброса шлака в расплав ЩЖМТ и посредством закачки ЩЖМТ под слой шлака;

- проведена сравнительная оценка стоимости переработки РАО натрия первого контура технологиями ТФО и НОАН.

Теоретическая и практическая значимость заключается в следующем:

- показана возможность применения пиролюзитового фильтра в составе модуля МАГМА-ТФО для переработки отработавшего ЩЖМТ, загрязненного ртутью, что дало возможность отказаться от использования жидкометаллической хроматографии для предварительной очистки сплава натрий-калий-ртуть на модуле ГЕТТЕР;

- экспериментально доказана эффективность использования газовой смеси-реагента, состоящей из закиси азота и углекислого газа в газе-носителе (Ar) для нейтрализации остатков ЩЖМТ в оборудовании;

- экспериментально доказано соответствие значений скоростей выщелачивания по цезию-137 образцов продуктов твердофазного окисления отработавшего ЩЖМТ требованиям НП-019-15.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается: воспроизводимостью результатов выполненных исследований; объемом данных, полученных в результате проведения лабораторных и стендовых исследований; применением методик, изложенных в ГОСТах; согласованностью полученных результатов с существующими литературными данными.

Личный вклад соискателя в получении изложенных в диссертации материалов заключается в:

- постановке целей и задач диссертационной работы,
- разработке программ и проведении экспериментов,
- получении результатов,
- обосновании научных положений и выводов,
- непосредственном проведении укрупненных опытно-лабораторных испытаний по нейтрализации остатков ЩЖМТ, переработке сплава натрий-калий-ртуть, определению характеристик продуктов отвержденного ЩЖМТ.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания: о причинах значительного различия в скоростях выщелачивания цезия-137 из образцов, полученных с помощью различных технологий (д.т.н. Кочнов О.Ю.); о возможности сравнения технологии переработки чистого щелочного теплоносителя и теплоносителя, загрязненного ртутью (д.т.н. Чусов И.А.); об обоснованности методики проведения экономических расчетов стоимости захоронения РАО натрия первого контура (д.ф.м.н. Коробейников В.В.)

Соискатель Легких К.Г. аргументировано ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Легких К.Г. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842.

На заседании 15 октября 2025 года диссертационный совет принял решение за разработку и обоснование возможности применения пирохимической и газофазной технологий переработки радиоактивных щелочных жидкометаллических теплоносителей, имеющих важное значение для реализации вывода из эксплуатации реакторов типа БН, присудить Легких Кристине Геннадьевне ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек (в том числе присутствовали дистанционно 2 человека), из них 14 докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – 0, не голосовали – 0.

Протокол о результатах тайного электронного голосования утвержден открытым голосованием единогласно.

Председатель
диссертационного совета



Троянов

Владимир Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Морозов

Андрей Владимирович

15 октября 2025 года