Акционерное общество «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля» (АО «НИКИЭТ»)

а/я 788, Москва, 101000
Телефон (499) 263-73-88, факс (499) 788-20-52
Телетайп: 611569 МОМЕНТ,
E-mail: nikiet@nikiet.ru, www.nikiet.ru
ОКПО 08624303, ОГРН 1097746180740
ИНН 7708698473, КПП 770801001

№ _____

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор -
генеральный конструктор,
доктор технических наук

_____ А.В. Каплиенко
18 декабря 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации акционерного общества «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля (АО «НИКИЭТ») на диссертацию Архипова Степана Павловича «Электрохимическое поведение урана, хрома, железа и никеля в расплаве LiF-BeF_2», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Тема диссертации направлена на разработку методов контроля коррозионных процессов, протекающих во фторбериллатных расплавах с участием таких металлов как Ni, Fe и Cr, входящих в состав основных конструкционных материалов разрабатываемого жидкосолевого реактора (ЖСР). Эффективным способом контроля процессов коррозии во фторбериллатных расплавах является поддержание определенного значения оксислительно-восстановительного потенциала (ОВП) среды, поэтому исследование электрохимического поведения коррозионно-активных элементов конструкционных материалов подтверждает актуальность выбранной темы диссертации. В работе подробно изучены процессы взаимодействия U, Cr, Fe и Ni с фторбериллатными расплавами. Полученные данные о влиянии ионов этих металлов на ОВП исследуемых систем позволяют выделить оптимальные условия эксплуатации никелевых конструкционных сплавов в среде топливной соли ЖСР.

Цель исследования, сформулированная автором работы, заключается в определении параметров электрохимического взаимодействия никеля, железа, хрома и урана с фторбериллатными расплавами, перспективными для

использования в качестве топливной соли и теплоносителя в жидкосолевых ядерных реакторах.

Цели диссертационной работы были достигнуты посредством последовательного решения следующих **задач:**

– на основе литературных и экспериментальных данных произведен выбор конструкции электродов сравнения, подходящих для осуществления исследований во фторбериллатных расплавах;

– установлены температурные и концентрационные зависимости равновесных потенциалов Ni, Fe, Cr (основных компонентов конструкционного материала) в расплаве 0,66LiF-0,34BeF_2;

– на основании экспериментальных значений равновесных потенциалов Ni, Fe, Cr и U установлены температурные зависимости условных стандартных потенциалов этих металлов во фторбериллатных расплавах;

– определены механизмы катодного восстановления Ni, Fe, Cr и U в расплавах 0,66LiF-0,34BeF_2 и 0,73LiF-0,27BeF_2.

Научная новизна и теоретическая значимость.

До настоящего времени были известны лишь расчетные значения условных стандартных потенциалов металлов во фторидных расплавах, основанные на модельных преставлениях, позволяющие проводить лишь оценочные суждения об электрохимических процессах, протекающих в этих средах. Автором работы впервые получены экспериментальные данные о равновесных потенциалах U, Cr, Fe и Ni в широком диапазоне температур и концентраций, потенциал определяющих ионов, на основании которых составлен ряд напряжений металлов для фторбериллатных систем. Эти данные необходимы для описания, прогнозирования и контроля коррозии металлических конструкционных материалов в среде фторбериллатных расплавов.

Диссертационная работа имеет **практическую значимость** поскольку в ней разработаны:

– методики синтеза и очистки тетрафторбериллата лития, позволяющие получить расплав 0,66LiF-0,34BeF_2 с низким значением остаточных концентраций примесей металлов и кислородсодержащих соединений;

– методика измерений ОВП расплавов 0,66LiF-0,34BeF_2 (0,73LiF-0,27BeF_2) с использованием динамического бериллиевого электрода сравнения, позволяющая в значительно степени увеличить точность проводимых измерений. Предложенная методика может быть использована при создании электрохимических устройств, предназначенных для определения ОВП как топливной соли, так и соли-теплоносителе ЖСР;

– определенны диапазоны потенциалов окислительно-восстановительных пар Ni(II)/Ni, Fe(II)/Fe, Cr(II)/Cr, U(III)/U во фторбериллатных расплавах, на основании которых установлены

оптимальные значения ОВП, при которых коррозия конструкционных материалов ЖСР будет минимальна.

Результаты работы Архипова С.П. могут быть использованы при дальнейших исследованиях коррозионной стойкости конструкционных материалов ЖСР, проводимых предприятиями Госкорпорации «Росатом», в частности, АО «НИКИЭТ», АО «ГНЦ НИИАР», ФГУП «ГХК», РФЯЦ – ВНИИТФ, АО «ВНИИНМ».

Личный вклад автора заключается в анализе литературных данных, планировании и проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных результатов. Автор создал установку для синтеза и очистки фторбериллатных систем, экспериментальную установку для потенциометрических и поляризационных измерений. Определение целей и постановка задач работы проведена автором совместно с научным руководителем членом-корреспондентом РАН, д.х.н. Ю.П. Зайковым.

Достоверность полученных результатов основана на системе исследований с использованием современных высокоточных приборов и методик измерений. Исследования проводили в герметичных перчаточных боксах с инертной атмосферой высокочистого аргона с системой очистки и мониторинга примесей влаги и кислорода в газовой атмосфере бокса. Аттестацию исходных соединений и используемых в исследовании расплавов проводили с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой в трех параллельных измерениях. Электрохимические измерения осуществляли на высокоточном потенциостате-гальваностате. Представленные в работе экспериментальные данные в достаточной мере обоснованны теоретически и были получены с использованием серий параллельных измерений, подтверждающих воспроизводимость результатов.

Результаты исследований **апробированы** в докладах на научных междисциплинарных российских и международных конференциях. Основные результаты диссертационной работы отражены в 17 научных публикациях, в том числе в 6-ти статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, в 5-ти тезисах докладов на российских и международных конференциях.

Диссертационная работа написана терминологически корректным научным языком, автор последовательно описывает проведенную работу и анализирует полученные результаты. Тема диссертационной работы соответствует паспорту заявленной специальности 2.6.9. Содержание диссертационной работы отвечает следующим пунктам паспорта специальности 2.6.9.: пункт 1. «Теоретические основы электрохимических и химических процессов коррозии», пункт 2. «Электрохимические методы защиты», пункт 6. «Приборы и оборудование для исследований и реализации электрохимических и противокоррозионных технологий и мониторинга коррозионных процессов».

Научные положения и выводы диссертационной работы соответствуют основным экспериментальным результатам, достоверны и обоснованы.

Автореферат диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК, написан четким, ясным языком и достаточно полно отражает содержание диссертации.

В числе замечаний и вопросов по содержанию диссертационной работы считаем необходимым указать следующее:

1. При ознакомлении с рисунком 2.14 возникает важный практический вопрос: какой никелевый электрод сравнения (капсулированный или не капсулированный) необходимо использовать в жидкосолевой реакторной установке? По тексту диссертационной работы такого практического совета (рекомендации) нет.
2. Общее замечание к разделу 2.1 – дано избыточно подробное описание-обоснование конструкций электродов сравнения для измерения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), которые в дальнейшем мало использованы для обоснования метода измерения ОВП.
3. На рисунке 2.18 значения равновесных потенциалов никеля, свинца, железа и хрома даны по отношению к фторному электроду сравнения (который технически нереализуем), в то время как на практике применяют динамический бериллиевый электрод сравнения. Для практического применения научных результатов данной диссертационной работы необходимо представить эти значения по отношению к равновесному потенциалу бериллия или указать коэффициент для пересчета этих величин.
4. Как влияет продолжительная выдержка металлического бериллия в расплаве 0,66LiF-0,34BeF_2 на соотношение основных компонентов? Есть ли необходимость проводить корректировку электролита?
5. Для какого материала или групп материалов были обоснованы верхняя и нижняя граница окислительно-восстановительно потенциала?
6. Расчеты и обоснования диапазонов окислительно-восстановительно потенциала были проведены для металлов в виде индивидуальных фаз. Как может измениться оптимальный диапазон окислительно-восстановительно потенциала с учетом того, что металлы будут находиться в составе сплава?
7. Нитрид бора при длительном контакте может взаимодействовать с фторидами никеля, железа и урана. Могло ли это повлиять на результаты исследований, выполненных в диссертации?
8. Значения $\Delta H^*_{(см)}$, приведенные в диссертационной работе в табл. 2.7 и табл. 2_автореферата, различаются. Подобные различия относятся к стр.13 автореферата и стр.89 диссертационной работы, где в одном случае говорится о трех различных методах расчета, а в другом случае о трех различных концентрациях ионов U^{3+}, взятых для расчетов.

Несмотря на вышеперечисленные замечания и вопросы, считаем, что диссертационная работа Архипов С.П. представляет собой самостоятельно выполненную законченную научно-квалификационную работу, в которой автором решена актуальная научно-техническая задача, имеющая фундаментальный характер, теоретическую значимость и практическую

ценность для реализации новой технологии трансмутации отдельных компонентов отработанного ядерного топлива в ЖСР.

По актуальности выбранной темы, научной новизне, степени обоснованности, достоверности полученных результатов, выводов, рекомендаций, апробации основных результатов в научных изданиях и личному вкладу автора диссертация и автореферат соответствуют требованиям пп. 9-11, 13 и 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Архипов Степан Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Отзыв по материалам диссертации рассмотрен и одобрен на заседании лаборатории химии теплоносителей и коррозии АО «НИКИЭТ», протокол от 15 декабря 2025 г. № 240.4905Пр.

Я, Шутько Кирилл Игоревич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.
Я, Наумов Валерий Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Начальник лаборатории химии теплоносителей и коррозии АО «НИКИЭТ», канд. техн. наук — 15.12.25 — Шутько Кирилл Игоревич, тел. (499) 763-03-31, correnes@nikiet.ru

Старший научный сотрудник лаборатории химии теплоносителей и коррозии АО «НИКИЭТ», канд. хим. наук — 15.12.2025 — Наумов Валерий Сергеевич, тел. (499) 743-08-51, naumov@nikiet.ru

Акционерное общество «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля» (АО «НИКИЭТ»), а/я 788, Москва, 101000, тел. +7 (499) 263-73-37, e-mail: nikiet@nikiet.ru

Подписи Шутько К.И., Наумова В.С. заверяю

Ученый секретарь АО «НИКИЭТ» А.В. Джалавян