

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 24.1.045.01 НА БАЗЕ
ФГБУН ИНСТИТУТА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ
УрО РАН ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 8 ноября **2023 г., № 9**
о присуждении **Карфидову Эдуарду Алексеевичу**, гражданину РФ,
ученой степени кандидата **химических** наук

Диссертация «Электрохимическая коррозия стали 12Х18Н10Т в расплаве LiCl-KCl, содержащем трихлориды церия, неодима, лантана» по специальности «2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» принята к защите **30 августа 2023 г., протокол № 1**, диссертационным советом Д 24.1.045.01, созданным на базе ФГБУН Института высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН (ИВТЭ УрО РАН), 620066, г. Екатеринбург, ул. Академическая, 20; приказ № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Карфидов Эдуард Алексеевич 09 апреля 1994 года рождения в 2018 году окончил ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), там же окончил аспирантуру в 2022 г., работает **младшим научным сотрудником** лаборатории коррозии ИВТЭ УрО РАН.

Диссертация выполнена на кафедре технологии электрохимических производств Химико-технологического института УрФУ.

Научный руководитель – доцент кафедры технологии электрохимических производств УрФУ, кандидат химических наук, доцент Никитина Евгения Валерьевна.

Официальные оппоненты:

Кушхов Хасби Билялович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой неорганической и физической химии ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»;

Самойлова Ольга Владимировна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве, утвержденном директором института академиком РАН Ремпелем Андреем Андреевичем, доктором физико-математических наук, и подписанном ученым секретарем института Рыльцевым Романом Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией физической химии, указала, что диссертантом решены важные для развития технологии электрохимической переработки отработавшего ядерного топлива задачи – изучены коррозионные процессы и предложены способы защиты от коррозии стали 12X18H10T в расплавах. Установленные закономерности расширяют представления о механизмах электрохимических процессов, протекающих в высокотемпературных расплавленных галогенидах щелочных металлов.

Соискатель имеет 56 опубликованных работ, 18 из них по тематике диссертационного исследования, в том числе 8 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 6 публикаций в материалах конференций, 1 учебное пособие, 3 патента РФ.

Наиболее значимые научные работы:

1. Карфидов, Э.А. Коррозионное поведение стали 12X18H10T в расплаве LiCl-KCl, содержащем добавки хлоридов f-элементов / Э.А. Карфидов, Е.В. Никитина, К.Е. Селиверстов, П.Н. Мушников, К.Р. Каримов // Расплавы. – 2023. – № 4. – С. 1 – 8. DOI: 10.31857/S0235010623040035. Доля авторского вклада 70%.

2. Карфидов, Э.А. Влияние состава газовой и солевой фазы на коррозию металлических материалов на основе никеля в расплавленных хлоридах щелочных металлов / Э.А. Карфидов, Е.В. Никитина // Расплавы. – 2022. – №5. – С. 537-550. DOI: 10.31857/S023501062205005X. Доля авторского вклада 80%.

3. Nikitina, E.V. Corrosion of 16CR12MOWSVNBB (EP-823) Steel in the LiCl-KCl melt containing CeCl₃, NdCl₃ And UCl₃ / E.V.Nikitina, N.A. Kazakovtseva, **E.A. Karfidov** // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – V. 811, 152032. DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.152032. Доля авторского вклада 50%.

На автореферат прислали положительные отзывы:

1. Доктор химических наук **Трифонов К.И.**, профессор кафедры “Безопасность жизнедеятельности, экология и химия” Ковровской государственной технологической академии. Задан вопрос:

- Как влияет на коррозионную активность среды совместное действие двух форм кислорода (O₂ и O²⁻)?

2. Доктор химических наук **Кузнецов С.А.**, заведующий лабораторией высокотемпературной химии и электрохимии Института химии и технологии редких и рассеянных элементов и минерального сырья Кольского научного РАН, г. Апатиты:

- В расплаве LiCl-KCl-Li₂O коррозию определяют реакции с ионом O²⁻, а не с O₂.

- Возможно ли участие оксихлоридов урана в коррозионных процессах?

3. Кандидат технических наук **Цурика А.А.**, руководитель группы перспективных направлений ОАО “Соликамский магниевый завод”:

- На с. 5 опечатка: в травильном растворе не 12 г/мл, а 12 г/л уротропина.

- На с. 12 в уравнении (6) не уравнен положительный заряд ионов Li⁺.

- Какой толщине слоя отвечает приведенный на рис. 6 состав?

- Следует ли из МРСА шлифа (рис. 10а), что уран не диффундирует в сталь?

4. Доктор химических наук **Князева Л.Г.**, главный научный сотрудник лаборатории хранения и защиты техники от коррозии, и доктор физико-математических наук **Вигдорович М.**, главный научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов Всероссийского НИИ использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г.Тамбов:

- Почему стабилизируется скорость коррозии с ростом pO₂ (рис. 2)?

- Оценивали ли скорость коррозии на основе теоретических представлений?

- В уравнении 6 допущена опечатка, речь идет об анионах кислорода;
- Спрямление кривой на рис. 15 превышает обозначенную погрешность.

5. Доктор химических наук **Гаркушин И.К.**, профессор кафедры общей и неорганической химии Самарского государственного технического университета:

- В названии и целях работы не отражены исследования с участием UCl_n .
- Проведены ли термодинамические расчеты для реакций 1-11?
- Поведение стали исследовали только при одной температуре (550°C)?
- Какие температуры плавления имеют изучаемые смеси?

6. Доктор физико-математических наук **Сидоров В.Е.**, директор Научно-образовательного центра «Расплав» Уральского государственного педагогического университета и кандидат физико-математических наук **Русанов Б.А.**, старший научный сотрудник этого центра, г. Екатеринбург:

- Каковы параметры формирования ЛДЭС и время его стабильной работы?
- Почему в качестве материала индикаторного электрода выбран молибден?

7. Кандидат химических наук **Чемезов О.В.**, доцент кафедры металлургии цветных металлов УрФУ, г. Екатеринбург:

- Как может повлиять на свойства ЛДЭС наличие в нем калия?
- Почему пассивирующий эффект увеличивается в ряду $\text{CeCl}_3 < \text{NdCl}_3 < \text{LaCl}_3$?
- Можно ли прогнозировать коррозионные свойства расплавов актинидов, основываясь на данных, полученных для лантанидов?

8. Кандидат физико-математических наук **Бабина И.А.**, профессор кафедры математики и естественнонаучных дисциплин Филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Челябинск:

- Чем обоснован выбор концентраций хлоридов РЗМ и оксида лития?
- Чем определялось концентрационное соотношение урана (+3) и (+4)?

9. Кандидат химических наук **Виндижева М. К.**, доцент кафедры неорганической и физической химии Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик.

Без вопросов и замечаний.

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации.

Оппоненты являются признанными специалистами в области высокотемпературной электрохимии редких, тугоплавких и редкоземельных металлов и их сплавов (Х.Б. Кушхов), материаловедения и коррозии металлов в условиях высоких температур (О.В. Самойлова).

Ведущая организация Институт металлургии УрО РАН известна научному сообществу своими исследованиями структуры и физико-химических свойств (в том числе термической стабильности) конструкционных материалов и сплавов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований

разработана сертифицированная методика изучения коррозии металлических материалов в высокотемпературных солевых средах, позволяющая определить влияние состава солевой и газовой фаз на скорость процесса;

предложено в качестве показателя, определяющего скорость коррозии в электролите на основе LiCl-KCl, использовать окислительно-восстановительный потенциал среды, измеряемый относительно обратимых по катиону лития электродов сравнения (литий-висмутового или литиевого динамического);

доказано ингибирующее влияние хлоридов РЗМ (возрастающее в ряду $\text{CeCl}_3 < \text{NdCl}_3 < \text{LaCl}_3$), которое снижает деградацию стали 12Х18Н10Т за счет формирования в условиях окислительной газовой атмосферы пассивирующего слоя оксихлоридов редкоземельных металлов на поверхности образцов.

Теоретическая значимость исследования обоснована

доказано, что добавление от 0,05 до 0,2 мас.% оксида лития в расплавленную эвтектику LiCl-KCl уменьшает скорость коррозии стали 12Х18Н10Т в 5-6 раз (до 0,014 г/м²ч) в результате образования сплошного слоя шпинельного типа (смеси LiCrO_2 и LiFeO_2), затрудняющего диффузию окислителя к поверхности металла;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс традиционных и современных методов исследования: гравиметрия для

определения скорости коррозии стали; циклическая вольтамперометрия, хронопотенциометрия, метод потенциала разомкнутой цепи – для характеристики агрессивности среды; методы элементного, рентгенофазового, микрорентгеноспектрального анализа – для оценки изменений морфологии и состава поверхностного слоя стали; методы карботермического восстановления и кислотно-основного титрования – для определения содержания растворенного в расплаве кислорода;

изложены факты об изменении типа коррозии стали 12X18H10T – переходе от «очаговой» к «сплошной» коррозии – в присутствии кислорода в газовой среде, о чем свидетельствуют увеличение скорости процесса на порядок величины с ростом содержания O_2 над расплавом от 0 до 20 об.% и образование рыхлого поверхностного слоя, состоящего в основном из оксида хрома (+3);

изучено влияние на коррозионную активность расплава LiCl-KCl добавки 2 мас.% хлоридов урана с различным соотношением UCl_3 и UCl_4 и показано, что с увеличением доли трихлорида урана скорость коррозии и величина окислительно-восстановительного потенциала среды значительно уменьшаются, тогда как UCl_4 действует как окислитель и вызывает межкристаллитную коррозию стали с глубиной проникновения до 30 мкм.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

создана и запатентована оригинальная установка для изучения коррозии материалов в расплавленных солях, которая позволяет проводить одновременно три независимых эксперимента, варьируя состав электролита и отбирая его пробы без нарушения герметичности атмосферы над расплавом;

определена область концентраций оксида лития в расплаве LiCl-KCl, в которой реализуется высокотемпературная кислородная пассивация стали экранирующего типа.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты получены на сертифицированном оборудовании (гальваностат-потенциостат AutoLab PGSTAT 302N с программным обеспечением NOVA 1.11

(Metrohm, Нидерланды), регулятор парциального давления кислорода Zirconia-M (ООО «Исследовательские Технологии», РФ), оборудование ЦКП ИВТЭ УрО РАН «Состав вещества») с проведением необходимой калибровки измерительных приборов, что обеспечило достаточную точность, объективность, хорошую воспроизводимость и согласованность полученных данных;

установлено количественное совпадение результатов, полученных с помощью гравиметрических измерений и анализа замороженного солевого плава.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных данных, планировании и проведении лабораторных экспериментов, анализе и обработке их результатов, подготовке публикаций, а также в участии в разработке установки для изучения коррозионных процессов и конструкции динамического литиевого электрода сравнения в расплавленных галогенидах.

В соответствии с **паспортом специальности «2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии»** работа направлена на исследование «структуры, защитных свойств» и коррозионной стойкости стали в солевых расплавах и создание «химических методов защиты конструкционных материалов от коррозии».

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования специалистам, работающим в области высокотемпературных технологий в атомной промышленности (АО «Прорыв», г. Москва; АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск Томской обл.; АО «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов», г. Димитровград; АО «Институт реакторных материалов, г. Заречный Свердловской обл.), а также в образовательных и научно-исследовательских организациях (ИВТЭ УрО РАН, УрФУ, г. Екатеринбург; Кабардино-Балкарский государственный университет, г. Нальчик).

В ходе защиты диссертации соискатель Карфидов Э.А. ответил на заданные ему вопросы; критические замечания при обсуждении не были высказаны.

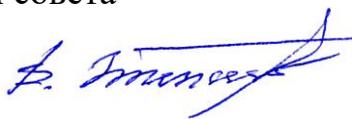
На заседании 8 ноября 2023 г. диссертационный совет постановил: за решение научной задачи, важной для развития технологии электрохимических

процессов и защиты от коррозии – установление закономерностей коррозии в расплавах на основе LiCl-KCl стали 12X18H10T, возможного конструкционного материала при пререработке отработавшего ядерного топлива в жидкосолевой рабочей среде, и разработку способов замедления деградационных процессов – присудить Карфидову Э.А. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 19, «против» – 1, недействительных бюллетеней – 2

Заместитель председателя совета

доктор химических наук



Степанов Виктор Петрович

Ученый секретарь совета

кандидат химических наук



Кулик Нина Павловна

10.11.2023

Подписи Степанова В.П. и Кулик Н.П. заверяю
Ученый секретарь ИВТЭ УрО РАН к.х.н.



Козина Анна Олеговна