

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.03  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 30.09.2021 № 26

О присуждении Ячменовой Людмиле Александровне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии получения металлических продуктов с применением гидридных восстановителей-модификаторов» по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 26.07.2021 года, протокол № 15 диссертационным советом ГУ 212.224.03 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, приказ ректора Горного университета от 25.06.2019 № 836 адм с изменениями от 25.11.2019 № 1605 адм, от 08.12.2020 № 1775 адм, от 05.02.2021 № 178 адм, от 21.04.2021 № 788 адм, от 30.06.2021 № 1307, от 12.07.2021 № 1382 адм.

Соискатель, Ячменова Людмила Александровна, 31.10.1988 года рождения, в 2011 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный университет» Минобрнауки России. В 2011-2021 гг. аспирант очной формы обучения кафедры автоматизации технологических процессов и производств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диплом об окончании аспирантуры получен 08.06.2021 г.

Соискатель Ячменова Людмила Александровна работает на кафедре общей и технической физики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный университет» в должности ассистента.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизации технологических процессов и производств в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, **Сырков Андрей Гордианович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра общей и технической физики, профессор.

Официальные оппоненты:

**Барбин Николай Михайлович**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», учебно-научный комплекс техносферной безопасности, пожаротушения и аварийно-спасательных работ, ведущий научный сотрудник;

**Губанов Олег Михайлович**, кандидат технических наук, публичное акционерное общество «Новолипецкий металлургический комбинат», дирекция по исследованиям и разработкам, руководитель проектов; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - **негосударственное частное образовательное учреждение высшего образования «Технический университет УГМК»**, г. Верхняя Пышма, в своем положительном отзыве, подписанном Лебедем Андреем Борисовичем, доктором технических наук, старшим научным

сотрудником, заведующим кафедрой металлургии; Скоповым Геннадием Вениаминовичем, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, профессором той же кафедры; Романовой Верой Васильевной, кандидатом технических наук, секретарем заседания, доцентом той же кафедры, и утвержденным Лапиным Вячеславом Александровичем, кандидатом технических наук, директором указала, что ценность работы обусловлена тем, что соискателем решена задача комплексного получения металлургической продукции и ее защита в пределах заданного объема на одной технологической установке. При этом, опираясь на идеологию ТГС, удалось упростить процесс, снизить его материалоемкость и энергозатраты, совместить в одном металлургическом агрегате восстановление и модифицирование металла.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 24 печатных работах, в том числе в 9 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2-х статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science и в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 7,3 печатных листов, в том числе 3,7 печатных листов – соискателя.

*Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:*

1. **Журенкова, Л.А.** (с 2011 г. – **Ячменова**) О взаимосвязи водоотталкивающих свойств и реакционной способности в процессе окисления наноструктурированных металлов на основе стали и алюминия /

Л.А. Журенкова, И.В. Плескунов, Т.М. Магомедов, А.Г. Сырков, В.В. Тарабан // Записки Горного Института. – 2009. – Т. 182. – С. 241-245.

*Соискателем проведен анализ экспериментальных данных, полученных для образцов на основе стали 3 и промышленных марок порошка алюминия; выявлена линейная зависимость между водоотталкивающими свойствами покрытий и их защитными свойствами для стальных образцов.*

2. Сырков, А. Г. Водоотталкивающие свойства наноструктурированных металлических порошков на основе алюминия / А.Г. Сырков, Д.С. Быстров, Л.А. Журенкова, Т.Г. Вахренева // Цветные металлы. – 2009. – № 2. – С. 79-82.

*Соискателем проведено обоснование выбора дисперсного алюминия (ПАП-2) для исследования влияния типа модификатора его поверхности на водоотталкивающие свойства (гидрофобность).*

3. Журенкова, Л.А. Закономерности изменения водоотталкивающих свойств наноструктурированных металлических порошков на основе алюминия / Л.А. Журенкова, Т.Г. Вахренева, А.Г. Сырков, В.В. Тарабан // Записки Горного института. – 2010. – Т. 186. – С. 241-244.

*Соискателем проанализированы закономерности изменения водоотталкивающих свойств металлических порошков на основе алюминия в зависимости от программы наноструктурного модифицирования поверхности металла; выявлены ряды усиления гидрофобности образцов.*

4. Сырков, А.Г. Устойчивость в процессе высокотемпературного окисления поверхностно-наноструктурированных металлов, полученных методом твердотельного гидридного синтеза / А.Г. Сырков, Л.А. Журенкова, Е.В. Ремзова, В.Ф. Туфрикова // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2011. – Т. 13. – №3. – С. 345-347.

*Соискателем проанализировано и обосновано усиление жаростойкости металлических образцов в ряду никель, медь, железо в зависимости от силы гетероатомного взаимодействия  $M \rightarrow Si$  в поверхностном слое порошков.*

5. Сырков, А.Г. Два подхода к получению поверхностно-наноструктурированных металлов: твердотельный гидридный синтез и адсорбционное модифицирование / А.Г. Сырков, Л.А. Журенкова, В.Ф. Туфрикова, И.В. Пантюшин // Записки Горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 373-376.

*Соискателем проведено обоснование выбора паров гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости ГКЖ-94 в качестве восстановителя-модификатора для применения на первой стадии восстановительной обработки твердотельного гидридного синтеза металлов.*

6. Сырков, А.Г. Жаростойкость поверхностно-наноструктурированных металлов, полученных методом твердотельного гидридного синтеза / А.Г. Сырков, Л.А. Журенкова, О.А. Дульнева, В.Ф. Туфрикова // Записки Горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 381-383.

*Соискателем изучено влияние природы металла на термостабильность при окислении металлических материалов; получены ряды усиления химической устойчивости порошков, сформированных последовательным восстановлением в парах этилгидридсилоксана и в  $\text{CH}_4$ , в зависимости от вида металла.*

7. Сырков, А.Г. Взаимосвязь реакционной способности и гидрофобности поверхностно-модифицированных металлов-наполнителей с трибологическими характеристиками смазок на их основе / А.Г. Сырков, Л.А. Ячменова, Е.В. Ремзова // Записки Горного института. – 2013. – Т. 206. – С. 245-248.

*Соискателем выполнено исследование взаимосвязи реакционной способности образцов на основе порошка никеля карбонильного (ПНК-УТЗ) и алюминиевой пудры (ПАП-2) с водоотталкивающими свойствами и трибологическими характеристиками смазок на их основе в зависимости от программы модифицирования катионактивными препаратами - алкамоном и триамоном.*

8. Слободов, А.А. Влияние температуры на твердотельный гидридный синтез металлов по данным термодинамического моделирования / А.А. Слободов, А.Г. Сырков, **Л.А. Ячменова**, А.Н. Кущенко, Н.Р. Прокопчук, В.С. Кавун // Записки Горного института. – 2019. – Т.239. – С. 550-555. DOI: 10.31897 / PMI.2019.5.550 (ВАК, МБДиСЦ; Scopus, Web of Science).

*Соискателем выполнен подбор стандартных и высокотемпературных термодинамических характеристик компонентов для моделирования процесса восстановления дихлорида меди в метане с помощью ТГС в диапазоне температур 300-1000 К.*

9. Пак, В.Н. Получение и электронная эмиссия планарных структур металлической меди на пористой керамической подложке / В.Н. Пак, Н.А. Лапатин, В.П. Пронин, **Л.А. Ячменова** // Цветные металлы. – 2021. – №5. – С. 55-58. – DOI: 10.17580/tsm.2021.05.06 (ВАК, МБДиСЦ; Scopus).

*Соискателем выполнена металлизация пластин пористого стекла в условиях твердотельного гидридного синтеза.*

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

10. **Yachmenova, L.A.** Solid-state hydride synthesis of metals as a perspective way of mineral processing and nanostructured regulation of material properties/ L.A. Yachmenova, A.G. Syrkov, A.N. Kushchenko, V.V. Tomaev // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources, April 18-20, 2018, St. Petersburg, Russia. – 2018. – P. 455-461.

**Ячменова, Л.А.** Твердотельный гидридный синтез металлов – перспективный путь переработки минерального сырья и наноструктурного регулирования свойств материалов / Л.А. Ячменова, А.Г. Сырков, А.Н. Кущенко, В.В. Томаев // Актуальные проблемы недропользования. Сборник трудов XIV Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, 18-20 апреля, Санкт-Петербург, Россия. – 2018. – С. 455-461.

*Соискателем проанализирован механизм образования Si-C-содержащих металлических продуктов твердотельного гидридного синтеза (ТГС) в среде метана (природного газа). Рассмотрены примеры регулирования удельной поверхности, пористости, структуры поверхности дисперсных металлов, полученных методом ТГС.*

11. Pleskunov, I.V. Innovative methods of processing and analysis of metal-containing raw materials based on adsorption phenomenon / I.V. Pleskunov A.G. Syrkov, **L.A. Yachmenova**, A.S. Mustafaev // Innovation-based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11-th Conference of the Russian-German Raw Materials, November 7-8, 2018, Potsdam, Germany. – 2018. – №1. – P. 341-351 (Scopus).

Плескунов, И.В. Инновационные методы переработки и анализа металлосодержащего сырья на основе явления адсорбции / И.В. Плескунов, А.Г. Сырков, **Л.А. Ячменова**, А.С. Мустафаев // Сборник трудов 11-й Российско-Германской сырьевой конференции, 6-8 ноября 2018 г., Потсдам, Германия. – 2018. – №1. – С. 341-351.

*Соискателем проанализированы возможности применения твердотельного гидридного синтеза для комплексной переработки хлоридного или оксидного сырья, а также для регулирования структуры и свойств поверхности металла.*

*Публикации в прочих изданиях:*

12. Быстров, Д.С. Нелинейные зависимости и свойства в системах, содержащих наноструктурированные порошки алюминия / Д.С. Быстров, А.Г. Сырков, **Л.А. Журенкова**, В.В. Тарабан, И.К. Ярцев // «ФАГРАН-2008»: Материалы конференции. – Воронеж: Изд. «Научная книга», 2008. – С. 326-327.

*Соискателем выполнена подготовка образцов на основе алюминия и проведено их модифицирование электронодонорными аммониевыми соединениями.*

13. **Журенкова, Л.А.** Водоотталкивающие свойства наноструктурированного алюминия и изучение строения его поверхности методами рентгенофотоэлектронной спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии // Материалы XLVII международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс», посвященной 50-летию НГУ. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2009. – С. 216.

*Соискателем проанализирована морфология модифицированных алюминиевых образцов на основе данных, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа; интерпретированы РФЭ-спектры образцов; обоснована связь структурных данных и водоотталкивающих свойств образцов.*

14. Сырков, А.Г. Высокогидрофобные наноструктурированные металлические порошки и осцилляции их водоотталкивающих свойств / А.Г. Сырков, Т.Г. Вахренева, Л.А. Журенкова, В.В. Тарабан. // Материалы Российско-немецкой конференции по физике твердого тела. – Астрахань: Изд. АГУ, 2009. – С. 26-31.

*Соискателем проанализирована морфология алюминиевых образцов на основе данных, полученных с помощью сканирующего микроскопа; проанализировано влияние на липофильные свойства содержания адсорбированных серы и азота в поверхностном слое образцов.*

15. **Журенкова, Л.А.** Твердотельный синтез поверхностно-наноструктурированных металлов через стадию адсорбционного модифицирования / Л.А. Журенкова, А.Г. Сырков, И.В. Пантюшин, В.Ф. Туфрикова // «ФАГРАН-2010»: Материалы конференции. – Воронеж: Изд. «Научная книга», 2010. – С. 336-339.

*Соискателем обоснована возможность восстановления металла с одновременной пассивацией его поверхности в парах кремнийорганического восстановителя-модификатора с помощью твердотельного гидридного*



*синтеза; проанализировано содержание азота и серы в образцах на основе алюминиевой пудры ПАП-2, оценена толщина защитной пленки.*

16. **Журенкова, Л.А.** Твердотельный гидридный синтез поверхностно-наноструктурированных металлов как развитие метода адсорбционного модифицирования / Л.А. Журенкова, О.А. Дульнева, Д.А. Сырков // Сборник материалов Межвузовской студенческой конференции «Химия и химическое образование XXI века», посвященной Международному году химии. СПб, РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – С. 78.

*Соискателем обоснована перспективность применения метода твердотельного гидридного синтеза для получения жаростойких металлических образцов в процессе восстановления.*

17. Сырков, А.Г. Повышение жаростойкости металлов в процессе восстановления органогидридсилоксанами / А.Г. Сырков, **Л.А. Журенкова** // Сб. докладов Межд. Конф. «Металлургия-интехэко». М.: «Измайлово», 2012. – С. 121-123.

*Соискателем проанализированы показатели жаростойкости восстановленных органогидридсилоксанами металлических образцов из оксидов и хлоридов Ni, Fe, Cu методом твердотельного гидридного синтеза; предложено объяснение механизма повышения уровня жаростойкости исследуемых образцов.*

18. Сырков, А.Г. Наноструктурированные защитные покрытия на металлических поверхностях / А.Г. Сырков, В.Ю. Бажин, Г.В. Коновалов, **Л.А. Ячменова**, Е.А. Назарова // Матер. Межд. Салона «Крым НИ-ТЕСН-2014». Севастополь, 2014. – С. 44.

*Соискателем проведено обоснование применения осушенного природного газа в качестве газа-носителя паров восстановителя-модификатора на первой стадии твердотельного гидридного синтеза, а также влияние состава газовой среды на защитные свойства поверхности металла.*

19. Фадеев, Д.В. Влияние газовой среды на адсорбционные и трибологические свойства металлических продуктов твердотельного гидридного синтеза / Д.В. Фадеев, В.Р. Кабиров, Л.А. Ячменова, А.Г. Сырков // Тр. Межд. форума «Проблемы недропользования». СПб.: 2015. – С.62–63.

*Соискателем проведена оценка влияния на свойства металла применения метана (природного газа) в качестве газа-носителя паров восстановителя-модификатора металлических продуктов в процессе твердотельного гидридного синтеза.*

20. Makhova, L.V. Influence of the Heteroatomic Interaction Between Metal and Nitrogen on Tribochemical Properties of Copper with Adsorbed Quaternary Ammonium Compounds / L.V. Makhova, A.G. Syrkov, L.A. Yachmenova, M.M. Brzhezinskaya // Smart Nanocomposites. – 2015. – Vol. 6, N 1. – P. 39-42.

Махова, Л.В. Влияние гетероатомного взаимодействия между металлом и азотом на трибохимические свойства меди с адсорбированными четвертичными соединениями аммония // Л.В. Махова, А.Г. Сырков, Л.А. Ячменова, М.М. Бржезинская // Smart Nanocomposites. – 2015. – Т.6, №1. – С. 39-42.

*Соискателем с применением метода РФЭ-спектроскопии проанализировано влияние гетероатомного взаимодействия между металлом и азотом на трибологические свойства меди, модифицированной четвертичными аммониевыми соединениями.*

21. Ячменова, Л.А. Твердотельный гидридный синтез металлов - перспективный путь переработки минерального сырья и наноструктурного регулирования свойств материалов / Л.А. Ячменова, А.Г. Сырков, А.Н. Кущенко, Н.С. Цыва // Сб. научных трудов Межд. форума-конкурса «Проблемы недропользования». СПб.: СПГУ, 2018. – С. 119–123.

*Соискателем проанализированы РФЭ- спектры поверхностного слоя металлических продуктов твердотельного гидридного синтеза; изучен*

*механизм донорно-акцепторного взаимодействия различных гидридных восстановителей с металлом.*

22. Силиванов, М.О. Возможности применения индикаторного метода для изучения и контроля физико-химических характеристик наноматериалов и нанопокровов / М.О. Силиванов, А.Н. Кущенко, Л.А. Ячменова // Нанозифика и наноматериалы: Сборник научных трудов. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского горного университета, 2019. – С. 244-249.

*Соискателем проанализирована возможность применения индикаторного метода для исследования поверхности модифицированных «батареиных» металлов.*

23. Сырков, А.Г. Оценка влияния температурного фактора на восстановление дихлорида никеля в аммиаке в процессе твердотельного гидридного синтеза / А.Г. Сырков, Л.А. Ячменова, М.О. Силиванов, А.Н. Кущенко // Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции «Инновационные идеи молодых исследователей» (11 мая 2021 г., г. Уфа). – Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2021. – С. 45-50.

*Соискателем выполнен подбор стандартных и высокотемпературных термодинамических характеристик компонентов для моделирования процесса восстановления дихлорида никеля в аммиаке методом ТГС.*

*Патенты:*

24. Патент № 2570599 Российская Федерация, МПК С22В 5/12, В82У 30/00 Способ получения поверхностно-наноструктурированного металлического материала: № 2014126846/02: заявл. 01.07.2014 : опубл. 10.12.2015 / Сырков А.Г., Ячменова Л.А., Назарова Е.А., Бажин В.Ю., Коновалов Г.В.; ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 10 с. : ил.

*Соискателем проведено обоснование проведения всех стадий синтеза в потоке очищенного природного газа.*

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами: на Международной научно-практической конференции «Инновационные идеи молодых исследователей» (г. Уфа, 11 мая 2021 г.), на Российско-германском сырьевом форуме (г. Потсдам, 7-8 ноября 2018 г.) на Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2009-2015 гг., 2018 г.), V Международной конференции «Металлургия-Интехэко-2012» (г. Москва, 27-28 марта 2012 г.), на Международном симпозиуме «Нанозифика и Наноматериалы» (г. Санкт-Петербург, 2015-2019 гг.), на Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах» - «Фагран-2008» (г. Воронеж, 6-9 октября 2008 г.), Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (г. Новосибирск, 11-15 апреля 2009 г.), на Российско-немецкой конференции по физике твердого тела (г. Астрахань, 3-8 июня 2009 г.), Всероссийской конференции «Фагран-2010» (г. Воронеж, 3-8 октября 2010 г.), на Межвузовской студенческой конференции «Химия и химическое образование XXI века» (г. Санкт-Петербург, 13-15 апреля 2011 г.). Выполненные разработки в области получения высокогидрофобных наноструктурированных металлов отмечены пятью медалями на Международных выставках, включая три золотых медали.

В диссертации Ячменовой Людмилы Александровны отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **С.А. Красикова**, д.т.н., доцента, главного научного сотрудника лаборатории редких тугоплавких металлов отдела цветной металлургии ФГБУН «Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук»; **В.И. Грачёва**, д.т.н., д.воен.н., профессора, генерального директора закрытого акционерного общества «Научно-производственная компания «АВЕРС»; **С.Н. Салтыкова**, д.х.н., доцента, руководителя проектов

Дирекции по исследованиям и разработкам Публичного акционерного общества «Новолипецкий металлургический комбинат»; **С.А. Немова**, д.ф.-м.н., профессора, профессора Высшей школы физики и технологий материалов Института машиностроения, материалов и транспорта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; **В.И. Марголина**, д.т.н., профессора, профессора кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»; **М.М. Сычева**, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой теоретических основ материаловедения ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»; **В.В. Томаева**, к.ф.-м.н., доцента той же кафедры; **В.Э. Ибрагимова**, к.т.н., начальника заготовительного цеха «Центрального конструкторского бюро машиностроения 2», филиала Акционерного общества «Центральное конструкторское бюро машиностроения» ГК «Росатом».

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, подчеркнута теоретическая и практическая значимость полученных результатов для развития технологий производства металлов, однако по работе есть вопросы и замечания:

- Замечание по оформлению автореферата: рисунок 1 – довольно блеклый, обозначения при оси ординат с трудом различимы; на вклеенных цветных вкладках рисунки хорошего качества, но помещены в конце автореферата и весьма далеко от места упоминания в тексте (д.т.н. **Красиков С.А.**).

- Было бы полезно, анализируя актуальность и значимость работы, показать ее ценность не только для металлургии, электроники, электромобилестроения, но и отметить перспективы для других социально значимых областей (медицина, здравоохранение и др.) (д.т.н. **Грачев В.И.**).

- В автореферате при описании кинетики металлургических процессов топохимическими уравнениями не приведены значения степени достоверности аппроксимации или коэффициентов линейной корреляции (д.ф.-м.н. Немов С.А.).

- В автореферате не объяснено уширение пиков в дифрактограммах (рис. 3) металлических продуктов ТГС. Возможно, что это сделано в диссертации (д.т.н. Марголин В.И.).

- При прочтении автореферата возникает такой вопрос. Из табл. 4 следует, что при получении металлов предложенным способом гидрофобность и жаростойкость металла возрастает в разы. Почему в итоговом выводе 4 говорится о более скромном возрастании названных характеристик (на 50%) (д.т.н. Сычев М.М, к.ф.-м.н. Томаев В.В.)?

- Какой экономический эффект ожидается от внедренных разработок автора в Кингашской ГРК и в компании GMC (к.т.н. Ибрагимов В.Э.)?

- Почему термодинамическое моделирование восстановления металлов не было проведено для всех рассматриваемых процессов ТГС (к.т.н. Ибрагимов В.Э.)?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертации и их компетентностью в области науки в сфере исследования и способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы. Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработан** и защищен патентом способ получения металлов, который лежит в основе новой металлургической технологии энерго- и ресурсосбережения при восстановлении твердофазного сырья гидридными реагентами;

**предложены** нетрадиционные подходы к сушке исходного хлоридного или оксидного сырья и модифицированию металлов в процессе восстановления;

**доказана** перспективность использования идей и закономерностей твердотельного гидридного синтеза металлов для получения

металлургической продукции со стабилизированной поверхностью и повышенной химической устойчивостью;

**введена** в практику лабораторных исследований оригинальная установка, где операции сушки сырья, восстановления, модифицирования и защиты металла проводят в одном металлургическом агрегате (реакторе).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** возможность достижения высоких степеней восстановления твердофазного сырья (до 99%) при последовательной обработке оксидного сырья, включая оленегорский суперконцентрат, кремнийгидридными реагентами и метаном;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)**

**использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе термодинамическое моделирование и анализ содержания металлической фазы *in situ* путем измерения изменения магнитного потока в ходе восстановления, что позволило определить фазовый состав системы, изучить кинетику и механизм металлургического процесса;

**изложены** результаты теоретических и экспериментальных исследований восстановления хлоридного и оксидного сырья в аммиаке, моносилане, метане, осушенном природном газе, в парах метилдихлорсилана и органогидридсилоксанов;

**раскрыты** граничные температурные условия и механизм образования целевого металлического продукта при восстановлении дихлорида меди в метане и дихлорида никеля в аммиаке;

**изучены** кинетические закономерности восстановления металлов из твердофазного сырья в среде простейших гидридных реагентов ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SiH}_4$ ) и при последовательном восстановлении этого сырья парами метилдихлорсилана и метаном (природным газом);

**проведена модернизация** методики термодинамического моделирования для расчета матрицы стехиометрических коэффициентов брутто-реакции

восстановления до металла для новой системы  $\text{NiCl}_2\text{-NH}_3$  в температурной области 300-1000 К с применением программного комплекса ASTICS.

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

**разработаны и внедрены** с ожидаемым экономическим эффектом энерго- и ресурсосберегающие технологии получения металлических продуктов с применением гидридных восстановителей-модификаторов;

**определены** рациональные технологические параметры сушки исходного металлосодержащего сырья и восстановления его в гидридных газовых средах;

**создана** система практических рекомендаций по снижению энергозатрат и материалоемкости получения металлов химическим восстановлением газами;

**представлены** результаты разработки принципиальной технологической схемы для переработки металлического, металлохлоридного или металлооксидного сырья в химически стойкую металлопродукцию;

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для экспериментальных работ достоверность результатов обусловлена их воспроизводимостью, соответствием известным тенденциям в развитии производства металлов (Ni, Fe, Cu, Al), ранее полученным результатам и разработкам. Эксперименты выполнены с использованием высокотехнологичного оборудования Горного университета, с применением стандартных и оригинальных методик, включая отраслевые.

**теория** базируется на известных физико-химических закономерностях металлургических процессов, проверяемых данных, согласуется с публикациями по теме диссертации;

**идея базируется** на обширных экспериментальных исследованиях, анализе практики комплексного подхода к извлечению металлов из твердофазного сырья, а также обобщении передового опыта по усилению коррозионной стойкости металлов;



**использованы** технические и технико-экономические обоснования применения разработанных способов синтеза и технологии по восстановлению металлов из твердофазного сырья с указанием отличий разработанных технических решений от применяемых в стандартной практике;

**установлено**, что результаты, полученные соискателем при проведении лабораторных опытов, не противоречат существующим теоретическим представлениям по химическому восстановлению металлов, по десорбции влаги из гидрофильных веществ, коррозии и термообработке металлов в различных газовых средах;

**использованы** современные методы сбора и обработки информации, представительные совокупности данных с обоснованием выбора объекта наблюдений и измерений;

Личный вклад соискателя состоит в анализе известных способов получения никеля, железа, меди, включая дисперсные металлы, в физико-химическом обосновании выбора сырья и условий восстановления металла в рамках единого технологического процесса, в отработке методик пассивации алюминия и стали, в синтезе металлических образцов в лабораторном и укрупненном реакторах, в участии в разработке научно-технических решений для энерго- и ресурсосберегающей технологии переработки твердофазного хлоридного и оксидного сырья, в апробации результатов для металлургического сектора Кингашской горнорудной компании и в компании GMS (г. Москва).

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Соискатель ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 30.09.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Ячменовой Л.А. ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-технической задачи снижения энергозатрат и материалоемкости в процессе комплексного получения металлургической

продукции и ее защиты в пределах заданного объема на одной технологической установке с применением гидридных восстановителей-модификаторов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета



Ученый секретарь  
диссертационного совета

Two handwritten signatures in black ink. The top signature is for Victor Mikhailovich Sizyakov, and the bottom signature is for Anna Yaroslavna Boduzhen.

Сизяков Виктор Михайлович

Бодуэн Анна Ярославовна

30.09.2021 г.