

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.5  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 24.12.2024 № 11

О присуждении Рябушкину Максиму Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Развитие технологии получения никелевого порошка трубчатых печей для последующей его переработки путем хлорного выщелачивания и электроэкстракции никеля» по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 21.10.2024 г., протокол заседания № 4, диссертационным советом ГУ.5 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 153 адм, с изменениями от 30.03.2023 № 467 адм, от 27.04.2023 № 653 адм, от 13.07.2023 № 1090 адм, от 03.11.2023 № 1638 адм, от 02.09.2024 № 1281 адм, от 14.10.2024 № 1537 адм.

Соискатель, Рябушкин Максим Игоревич, 02 мая 1977 года рождения, в 1999 году соискатель окончил Норильский индустриальный институт по специализации Metallургия цветных металлов.

В период с 01.10.2019 г. по 30.09.2023 г. обучался в очной аспирантуре ООО «Институт Гипроникель».

Работает с 2019 года первым заместителем генерального директора-главным инженером в акционерном обществе «Кольская горно-металлургическая компания».

Диссертация выполнена в обществе с ограниченной ответственностью «Институт Гипроникель».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, **Цымбулов Леонид Борисович**, директор департамента по исследованиям и разработкам ООО «Институт Гипроникель».

Официальные оппоненты:

**Садыхов Гусейнгулу Бахлул оглы**, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии

наук (ИМЕТ РАН), лаборатория «Проблем металлургии комплексных руд имени академика И.П. Бардина», заведующий лабораторией;

**Кузас Евгений Александрович**, кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр «Гидрометаллургия», научно-технический отдел, начальник отдела; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **акционерное общество «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых (АО «Уралмеханобр»)**, г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве, подписанном Закриничным Виталием Николаевичем, заместителем генерального директора по научной работе, председателем заседания, Верхотрубовой Аллой Владимировной, заведующей аналитической лабораторией, секретарем заседания, и, утвержденном Булатовым Константином Валерьевичем, кандидатом технических наук, генеральным директором, указала, что теоретическая значимость работы заключается в разработанных термодинамических моделях окислительных и восстановительных процессах, позволяющих прогнозировать поведение компонентов в сложных системах Ni-S-O и Ni-C-O в зависимости от концентрации реагентов и температуры.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, в том числе в 5 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 3,25 печатных листов, в том числе 1.74 печатных листа – соискателя.

1. **Рябушкин, М.И.** Поведение  $\text{SiO}_2$  при реализации новой технологии переработки никелевого концентрата от разделения фанштейна на предприятии АО «Кольская ГМК» / М.И. Рябушкин, Р.А. Пахомов Л.Б. Цымбулов, Ю.А. Савинова // -М. изд. «Руда и Металлы». - Цветные металлы. - 2021. - № 12. - С. 14-24.

*Личный вклад соискателя заключается в теоретическом обосновании, формировании подходов к выполнению исследований и ее научной составляющей, участии в планировании исследований, обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

2. **Рябушкин, М.И.** Анализ работы и модернизация участка магнитной сепарации в новой технологии переработки никелевого концентрата в АО «Кольская ГМК». Часть 1 / М.И. Рябушкин, А.Л. Романов, Р.А. Пахомов Л.Б.

Цымбулов // -М. изд. «Руда и Металлы». - Цветные металлы. - 2022. - № 3. - С. 60-68.

*Личный вклад соискателя заключается в теоретическом обосновании, участии при планировании исследований, обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

3. **Рябушкин, М.И.** Анализ работы и модернизация участка магнитной сепарации в новой технологии переработки никелевого концентрата в АО «Кольская ГМК». Часть 2 / М.И. Рябушкин, А.Л. Романов, Р.А. Пахомов Л.Б. Цымбулов // -М. изд. «Руда и Металлы». - Цветные металлы. – 2022. - № 4. - С. 12-19.

*Личный вклад соискателя заключается в теоретическом обосновании, участии при планировании исследований, обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

4. **Рябушкин, М.И.** Термодинамическое моделирование окислительного обжига никелевого концентрата от разделения фэйнштейна в печах кипящего слоя / В. А. Попов, М.И. Рябушкин, Р.А. Пахомов, Л. Ш. Цемехман // -М. изд. «Руда и Металлы». - Цветные металлы. -2022. - № 4. – С. 20-26.

*Личный вклад соискателя заключается в теоретическом обосновании, участии при планировании исследований, обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

5. **Рябушкин, М.И.** Анализ работы пирометаллургического участка по получению металлизированного никелевого порошка на АО «Кольская ГМК» / М.И. Рябушкин, Р.А. Пахомов Л.Б. Цымбулов, С.С. Озеров // -М. изд. «Руда и Металлы». - Цветные металлы. -2022. - № 11. - С. 17-25.

*Личный вклад соискателя заключается в теоретическом обосновании, формировании способов выполнения исследований и ее научной составляющей, участии при планировании исследований, обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

*Публикации в прочих изданиях:*

6. **Рябушкин, М.И.** Исследование состава и строения материалов технологического происхождения локальными методами анализа в контексте решения конкретных производственных задач (тезисы докладов/сообщений научной конференции), Международная конференция "MELTS" (г. Екатеринбург, 12-18 сентября 2021 года), тематический сборник, устное выступление на международной конференции, Екатеринбург, 2021, с. 44.

*Личный вклад соискателя заключается в участии при планировании исследований, обработке и обсуждении результатов.*

7. **Рябушкин, М.И.** Глубокая медеочистка никель-кобальтовых растворов акционерного общества «Кольская ГМК» (тезисы докладов/сообщений научной конференции), Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки, изд. ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», тематический сборник, Апатиты, 2023. Т. 14, № 2. С. 218–222.

*Личный вклад соискателя заключается в участии при планировании исследований обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

8. **Рябушкин, М.И.** Поведение печей кипящего слоя при переработке сульфидного никелевого концентрата вариативного состава, LX Международная научно-практическая конференция "Российская наука в современном мире", межвузовский сборник, сообщение на международной конференции, Екатеринбург изд. НИЦ «Актуальность РФ», Москва, 2024, с. 75-76

*Личный вклад соискателя заключается в участии при планировании исследований обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации.*

9. **Рябушкин, М.И.** Термодинамическое моделирование восстановительного обжига оксидов металлов в трубчатых печах, Международная научно-практическая конференция «Научно-технический прогресс: информация, технологии, механизм» Стерлитамак, 2024.

Личный вклад соискателя заключается в участии при планировании исследований обработке и обсуждении результатов, подготовке материалов к публикации

*Патенты:*

10. Патент № 2 789 528 Российская Федерация, МПК C22B 11/00 (2006.01); C22B 7/00 (2006.01); C22B 3/04 (2006.01); C22B 1/06 (2006.01); B03D 1/012 (2006.01). Способ переработки промпродуктов, содержащих драгоценные металлы, полученных при производстве катодного никеля (варианты): № 2022118403: заявл. 06.07.2022: опубл. 06.02.2023 / М.А. Ласточкина, Т.В. Вергизова, А.Ю. Четверкин, М.И. Калашникова, **М.И. Рябушкин** // заявитель Публичное акционерное общество «Горно-металлургическая компания «Норильский никель», Общество с ограниченной ответственностью «Институт Гипроникель», Акционерное общество «Кольская горно-металлургическая компания». - 18 с.: ил.

В диссертации Рябушкина Максима Игоревича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Апробация работы проведена на международной научной конференции "MELTS" (г. Екатеринбург, 2021 г.), на международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире» (г. Москва, 2024 г.), на международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс: информация, технологии, механизм» (г. Стерлитамак, 2024 г.), заседаниях НТС ПАО «ГМК «Норильский Никель» и АО «Кольская ГМК» (2020-2023 гг.), а также научных семинарах ООО «Институт Гипроникель» (г. Санкт-Петербург, 2023 г.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: главного металлурга - начальника управления технологического планирования и отчетности Научно-технического Департамента Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель», к.т.н., доцента **Л.В. Крупнова**; советника генерального директора ФИЦ Кольский научный центр РАН, д.т.н. **В.А. Маслобоева** и директора Института проблем промышленной экологии Севера, д.т.н. **Д.В. Макарова**; заведующего кафедрой металлургии цветных металлов ФГАОУ ВО «УрФУ», д.т.н. **С.В. Мамяченкова**; председателя Совета директоров, научного руководителя ООО «НПФ КОМТЕРМ», д.т.н. **С.М. Нехамина**; доцента Высшей школы физики и технологий материалов ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», к.т.н. **С.И. Выступова**; заведующего кафедрой металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского», д.т.н. **Н.Д. Ванюковой**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки поставленной задачи и научный подход к ее решению, однако по проделанной работе имеются замечания и вопросы:

1. В работе представлены требования, предъявляемые к продукции по концентрации  $\text{SiO}_2$  и С при этом значительная доля, судя по таблице №2 (Вкладка 1) приходит с твердым восстановителем. Зола углей помимо  $\text{SiO}_2$  имеет также существенные содержания  $\text{MgO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Оценивалось ли влияние этих соединений на параметры технологического цикла. (к.т.н. **Л.В. Крупнов**);

2. Упоминание о типе сепарации в автореферате приводится только на рисунке 9 (Вкладка 1), где показано использование сухой магнитной сепарации. Не поясняется чем обусловлен выбор именно сухой магнитной сепарации, проводились ли исследования по мокрой сепарации, по удалению золы и частиц угля при использовании гидро- или пневмо-классификации, за счет разности в истинных плотностях частиц (к.т.н. **Л.В. Крупнов**);

3. Реализована ли настоящее время схема магнитной сепарации на АО «КГМК», какую фактическую эффективность показывает (к.т.н. **Л.В. Крупнов**);

4. Пункты 3 и 4 научной новизны отражают результаты технологических исследований (д.т.н. **С.В. Мамяченков**);

5. В составе никелевого концентрата (стр. 10) сумма элементов не равна 100%. То же для состава никелевого огарка на стр. 11 (д.т.н. **С.В. Мамяченков**);

6. Следует пояснить, за счет чего стабилизация содержания серы в шихте окислительного обжига более 17% обеспечит укрупнение тонких классов оборотных материалов и (одновременно) уменьшит количество агломератов в продукте ТВП (д.т.н. **С.В. Мамяченков**);

7. Возможно ли повысить извлечение  $\text{SiO}_2$  в немагнитную фракцию выше 32,2 % (стр. 19)? На рис. 13 извлечение  $\text{SiO}_2$  в МФ составляет 41,45% (д.т.н. **С.В. Мамяченков**);

8. В названии диссертации указана переработка никелевого порошка путем хлорного выщелачивания электроэкстракции никеля, но в автореферате этот передел не отражён (д.т.н. **С.М. Нехамин**);

9. Не ясно проводилась ли оценка влияния степени металлизации металлического порошка на эффективность разделения и показатели извлечения никеля в магнитный продукт? (д.т.н. **С.М. Нехамин**);

10. Что происходит с распределением кобальта при рассматриваемой технологической схеме? (д.т.н. **С.М. Нехамин**);

11. Какие мероприятия, упомянутые в теоретической и практической значимости п. 2. разработаны и реализованы в настоящей работе, так как конкретные рекомендации в выводах не приводятся? (к.т.н. **С.И. Выступов**);

12. Чем обусловлен такой широкий диапазон колебаний по содержанию серы в составе шихты, поступающей в печи кипящего слоя? Каким образом производится регулировка соотношения концентрата: оборачиваемая пыль? (к.т.н. **С.И. Выступов**);

13. Проводилась ли оценка распределения диоксида кремния и углерода в продукте трубчатых печей по классам крупности? (к.т.н. **С.И. Выступов**);

14. Как следует из 3 занимаемого положения (страница 7 автореф.) значительное влияние на образование конгломератов спеченных частиц происходит при значительном влиянии оксида натрия. Анализировались ли источники появления оксида натрия и возможные мероприятия по выводу его из технологического процесса? (д.т.н. **Н.Д. Ванюкова**)

15. В чем заключалась неэффективность существовавшей ранее схемы магнитной сепарации до ее совершенствования, отмеченное в 4 защищаемом положении (стр 7 в автореф.)? (д.т.н. **Н.Д. Ванюкова**)

16. В автореферате отсутствует информация о распределении остальных оксидов, содержащихся в углях ( $Al_2O_3$ , CaO, MgO и др.), проводилась ли оценка распределения и влияния остальных оксидных соединений, поступающих вместе с подаваемым восстановителем? (д.т.н. **Н.Д. Ванюкова**)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов в соответствующей отрасли науки и наличием у них публикаций в сфере исследования, а также широкой известностью ведущей организации своими достижениями рассматриваемой или граничной областях, а соответствующей теме исследования отрасли наук и способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** научно обоснованная технологическая концепция получения никелевого порошка трубчатых печей для последующей его переработки путем хлорного выщелачивания и электроэкстракции никеля;

**предложен** термодинамический подход к разработке алгоритмов управления процессами окислительного и восстановительного обжига, установлен механизм накопления диоксида кремния в технологической схеме, определены макромеханизмы образования спеченных конгломератов на стадии восстановительного обжига, предложена новая технологическая схема магнитной сепарации;

**доказана** возможность получения никелевого порошка с кондиционным содержанием диоксида кремния (0,61%) и углерода (0,11%), а также снижения расхода углеродистого восстановителя при восстановительном обжиге на 10% отн. и роста извлечения никеля в никелевый порошок с 98.3% до 99,9% на стадии магнитной сепарации с суммарным экономическим эффектом 6,455 млрд. руб. при инвестиционных затратах 0,567 млрд. руб. и сроком окупаемости 3,2 года;

**введены** представления о макромеханизме образования структурных составляющих на стадиях окислительного и восстановительного обжига, ранее не востребованные из-за использования для переработки никелевого порошка способа анодной плавки, нивелирующего недостатки технологических процессов в печах кипящего слоя и трубчатых вращающихся печах.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** возможность использования термодинамического моделирования для прогноза составов продуктов обжига и тепловых эффектов этих процессов, определен механизм накопления наиболее проблемной примеси в технологической схеме – диоксида кремния, определен макромеханизм образования спеченных конгломератов, а также зависимости гранулометрического состава конгломератов и их прочности от температуры обжига, определены зависимости содержания диоксида кремния и углерода в никелевом порошке, образующемся при магнитной сепарации, от крупности исходного питания, величины магнитной индукции и частоты вращения барабана-сепаратора;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** современные методы термодинамического моделирования, химического анализа, исследования технологических продуктов методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа с применением электронного микроскопа последнего поколения, технико-экономического анализа;

**изложена** идея использования термодинамики для прогноза и управления процессами окислительного и восстановительного обжига, представлена классификация структурных составляющих, содержащих диоксид кремния, по генезису их образования, выдвинута гипотеза образования спеченных конгломератов при восстановительном обжиге, изложены доказательства повышения извлечения никеля в магнитную фракцию никелевого порошка при реализации технологии магнитной сепарации с контрольной перечисткой;

**раскрыты** причины накопления диоксида кремния в технологической схеме, повышенного выхода тонких классов огарка на стадии окислительного обжига, образования спеченных конгломератов на стадии восстановительного обжига, низкого извлечения никеля в магнитный продукт на стадии магнитной сепарации. и повышенных концентраций в порошке диоксида кремния и углерода;

**изучены** с применением термодинамического моделирования зависимости тепловых эффектов процессов обжига от химического состава шихты и расходе угля, зависимости выхода тонких классов огарка (- 0,2 мм) от содержания серы в питании печи окислительного обжига, зависимости выхода спеченных конгломератов от доли тонких классов огарка и температуры в печи восстановительного обжига, изучены факторы, оказывающие влияние на качество никелевого порошка: крупность питания,



магнитная индукция и частота вращения барабана-сепаратора, а также факторы, определяющие возможность высокого извлечения никеля – наличие стадии контрольной сепарации.

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

**разработана и внедрена** технологическая схема магнитной сепарации, позволяющая обеспечить снижение концентраций диоксида кремния и углерода в порошке до кондиционных значений и увеличить извлечение никеля до 99,9% (принята инвестиционным комитетом ПАО «ГМК «Норильский Никель» к внедрению, как имеющая высокие технико-экономические показатели);

**определены** перспективы использования термодинамического моделирования для разработки алгоритмов управления процессами окислительного и восстановительного обжига, применения данных о распределении и накоплении в технологической схеме диоксида кремния для определения канала вывода данной нежелательной примеси, пределы снижения концентрации серы в шихте печей окислительного обжига (17% масс.), пределы расхода угля на стадии восстановительного обжига – не более 15% от расхода огарка, пределы температуры восстановительного обжига – не более 1080<sup>0</sup>С, параметры магнитной сепарации: крупность питания – «-2,5 мм»; поле магнитной индукции основной сепарации 0,12 Тл при частоте вращения барабана-сепаратора 90 об/мин; поле магнитной индукции контрольной сепарации 0,18 Тл при частоте вращения барабана-сепаратора в пределах 55-75 об/мин;

**создана** технология пирометаллургической переработки никелевого концентрата от разделения фэйнштейна с получением металлического никелевого порошка, полностью отвечающего требованиям последующей его гидрометаллургической переработки по гранулометрическому составу, содержанию диоксида кремния и углероду с высокими показателями извлечения никеля;

**представлены** предложения по использованию термодинамического моделирования для разработки систем управления печами окислительного и восстановительного обжига, рекомендации по совершенствованию технологических процессов окисления никелевых концентратов, восстановления огарков окислительного обжига, магнитной сепарации восстановленного никелевого порошка.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**результаты** подтверждаются соответствием современным представлениям о процессах, протекающих при окислении, последующем восстановлении и

разделении на магнитную и немагнитную фракцию продуктов при переработке никелевого концентрата от разделения фэйнштейна, применением современных методов исследований, анализа, применением современного поверенного оборудования и программного обеспечения, а также сходимостью результатов термодинамических и лабораторных исследований результатам промышленных испытаний;

**теория** построена на известных и проверяемых данных о физико-химических и механических превращениях, происходящих в изучаемых технологических процессах, изложенных в актуальных научных источниках информации, а также на использовании современного, признанного в мире программного обеспечения по термодинамическому моделированию;

**идея базируется** на анализе практики работы печей окислительного и восстановительного обжига, технологий сухой магнитной сепарации металлических порошков, а также на обобщении и использовании передовых подходов к термодинамическому моделированию и детальному изучению строения и фазового состава продуктов технологической схемы;

**использованы** общенаучные методы сравнения полученных экспериментальных данных с результатами ранее выполненных исследований, теоретическими представлениями о протекающих процессах;

**установлено** хорошее соответствие полученных результатов поставленной цели исследования и отсутствие выводов и рекомендаций, противоречащих теоретическим представлениям об изучаемых процессах;

**использованы** современные способы поиска и анализа литературных данных по российской и мировой практике процессов окислительного и восстановительного обжига, изучению механизма восстановления оксида никеля и содержащих его продуктов, способов сухой магнитной сепарации схожих материалов, а также инструменты математической обработки результатов термодинамических и экспериментальных исследований.

**Личный вклад соискателя состоит в:** постановке целей и задач диссертационного исследования, концептуализации научной идеи работы, анализе существующей ситуации на производстве, выборе методов и инструментов исследования, анализе научно-технической литературы, разработке технических решений, анализе, интерпретации и научном обобщении полученных результатов исследований, а также подготовке публикаций.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Рябушкин М.И. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 24 декабря 2024 диссертационный совет принял решение присудить **Рябушкину Максиму Игоревичу** ученую степень кандидата технических наук решение научной задачи - разработку научно обоснованного технологического решения получения никелевого порошка, пригодного для последующей его переработки путем хлорного растворения и электроэкстракции никеля, имеющей существенное значение для развития экономики страны и поддержания технологического суверенитета государства.

При проведении тайного голосования с использованием информационно-коммуникационных технологий диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Сизяков  
Виктор Михайлович

Николаева  
Надежда Валерьевна

24.12.2024 г.