

Заключение диссертационного совета 24.2.312.08, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.12.2023г. № 8

О присуждении Орехову Владимиру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование сложного совмещённого тепломассообменно-химического процесса (на примере высокотемпературного обжига рудного фосфатного сырья)» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 20.10.2023г. протокол заседания №7, диссертационным советом 24.2.312.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, совет утверждён приказом Минобрнауки России № 850/нк от 12.07.2022 г.

Соискатель Орехов Владимир Александрович, 15 мая 1989 года рождения.

В 2012 году соискатель окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» по направлению «Электроника и микроэлектроника».

Работает в должности ассистента кафедры электроники и микропроцессорной техники в филиале ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре высшей математики филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Бобков Владимир Иванович, филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, кафедра высшей математики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Большаков Александр Афанасьевич, доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы технологий искусственного интеллекта Института компьютерных наук и кибербезопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

Мошев Евгений Рудольфович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Оборудование и автоматизация химических производств» Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой «Информационные системы», доктором технических наук, профессором Палюхом Борисом Васильевичем, указала, что диссертационная работа «Моделирование сложного совмещённого тепломассообменно-химического процесса (на примере высокотемпературного обжига рудного фосфатного сырья)» представляет собой логически завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, имеющую теоретическое и практическое значение, является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена задача моделирования совмещённых тепломассообменно-химических процессов термической обработки дисперсного сырья, что имеет существенное значение для различных энергоёмких отраслей промышленности и производства, основанных на тепло-технологии, а ее автор Орехов Владимир Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 35 научных работ, из них 6 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 15 публикаций в изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus, а также 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и 1 патент. Выводы и основные результаты диссертации прошли апробацию, докладывались и получили одобрение на научных конференциях, конкурсах различного уровня.

В них содержатся основные результаты исследования: создание математических и компьютерных моделей сложного совмещённого тепломассообменно-химического процесса (на примере высокотемпературного обжига рудного фосфатного сырья), численные методы их расчета, описание созданного программного комплекса по описанию, расчёту и хранению данных по теплофизическим свойствам рудного фосфорсодержащего сырья.

Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Орехов В. А. Цифровизированное многомасштабное моделирование тепло-технологических рудовосстановительных процессов в электротермической фосфорной печи / В. А. Орехов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2023. – № 4. – С. 31–35.

2. Орехов В. А. Математическое моделирование процессов образования шлама в рудно-термических печах при переработке фосфатного рудного сырья / В. А. Орехов // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 7. – С. 78–86.

3. Орехов В. А. Особенности методики определения теплофизических свойств

фосфоритового агломерата / В. А. Орехов, В. И. Бобков // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 10–1. – С. 59–63.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: доктора технических наук, профессора, профессора кафедры Логистики и экономической информатики в Международном Институте Логистики Ресурсосбережения и Технологической Инноватики (НОЦ) ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» Бутусова Олега Борисовича; кандидата технических наук, доцента, профессора кафедры систем автоматизированного проектирования ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» Гладкова Леонида Анатольевича; доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой физико-математических основ инженерного образования ИКТИБ ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» Куповых Геннадия Владимировича; доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Техническая кибернетика и автоматика (ТКиА)» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» Лабутина Александра Николаевича; кандидата технических наук, доцента кафедры программного обеспечения информационных технологий Межгосударственного ОУ ВО «Белорусско-Российский университет» Мисника Антона Евгеньевича; доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Охрана труда и окружающей среды» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» Панарина Владимира Михайловича совместно с доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры «Охрана труда и окружающей среды» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» Масловой Анной Александровной; доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Автоматизация процессов химической промышленности» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» Русинова Леона Абрамовича; кандидата технических наук, заместителя технического директора по проектированию ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» Такташева Рената Нямяновича.

Все отзывы положительные.

В отзывах отмечено, что работа выполнена на актуальную тему, содержит научные подходы к разработке математических и компьютерных моделей сложного совмещенного тепломассообменно-химического процесса (на примере высокотемпературного обжига рудного фосфатного сырья), содержит описание численных методов расчета предложенных моделей и описание созданного программного комплекса по описанию, расчету и хранению данных по теплофизическим свойствам (теплоёмкости и теплопроводности) рудного фосфатного сырья. Научные труды, опубликованные автором, соответствуют содержанию работы, выбранной проблематике и отражают основные положения предложенного соискателем диссертационного исследования. Рассматриваемая научно-квалификационная работа, решает

задачу моделирования совмещенных тепломассобенно-химических процессов термической обработки дисперсного сырья, что имеет существенное значение для различных энергоемких отраслей промышленности и производства, основанных на теплотехнологии. Высока практическая значимость исследования, которая состоит в возможности применения полученных результатов в рамках актуальных стратегий развития энергоэффективных направлений энергоемких отраслей промышленности, основанных на термической подготовке дисперсного сырья.

В качестве замечаний отмечено: из текста автореферата не ясно, какой язык программирования был выбран для создания программного комплекса и почему (д.т.н., профессор Бутусов О. Б.); на странице 15, имеется грамматическая ошибка в слове «предэкспоненты», возможно ли применять разработанные модели при описании процессов в других отраслях промышленности и производства (к.т.н., доцент Гладков Л. А.); из текста автореферата непонятно, какие системные требования к оборудованию необходимы для установки предложенной автором программы, где хранятся данные, введенные в предложенную программу? (д.т.н., профессор Лабутин А. Н.); не совсем понятно и широко описана потенциальная применимость разработанных моделей для описания процессов термической обработки различных отраслях промышленности (к.т.н. Мисник А.Е.); на с. 9 непонятно описано происхождение числа n в формуле $f(\alpha) = (1-\alpha)^n$, в тексте автореферата не описано, какой язык программирования был выбран для написания программы расчета теплофизических свойств фосфоритов и почему (д.т.н., профессор Панарин В. М., д.т.н., доцент Маслова А. А.); от химических и теплофизических свойств газа-теплоносителя зависит эффективность и качество протекания высокотемпературного химико-энерготехнологического процесса обжига фосфоросодержащего рудного сырья. В автореферате диссертации не приводится описание влияния применяемого газа-теплоносителя в процессе обжига на полученные научные результаты (д.т.н., профессор Русинов Л. А.); в тексте автореферата отсутствует расшифровка сокращения «МНК», планируется ли дальнейшее совершенствование моделей, которое учитывало бы дополнительные показатели протекания реакций? (к.т.н. Такташев Р.Н.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается их известностью своими достижениями в области математического моделирования процессов, разработки программных модулей для информационной поддержки теплоэнергетического оборудования, наличием публикаций в ведущих рецензируемых научных изданиях по тематике исследования соискателя.

Ведущая организация широко известна своими исследованиями в области математического и компьютерного моделирования различных химико-энерготехнологических процессов, многостадийных непрерывных технологических процессов.

Исследования отражены в публикациях ведущих ученых ведущей организации ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет» (д.т.н., профессор Палюх Б.В., д.т.н., профессор Дзюба С. М., д.т.н., профессор Богатиков В. Н.

и др.) в ведущих российских изданиях, таких как «Программные продукты и системы», «Искусственный интеллект и принятие решений», «Информация и инновации» и др.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– разработана математическая модель сложного совмещенного тепломассообменно-химического процесса (на примере высокотемпературного обжига рудного фосфатного сырья), позволяющая получить количественное описание кинетики термического разложения реагирующих компонентов в диапазонах температур функционирования аппаратов термической обработки;

– предложена модификация численного метода для расчёта теплофизических свойств непрореагировавшего и прореагировавшего образцов и теплофизических свойств газа-теплоносителя, расхода и температуры греющего газа-теплоносителя в плотном слое полифракционной засыпки рудного сырья;

– доказано возникновение значительных градиентов температур в полифракционных дисперсных материалах, связанное с нестационарными условиями нагрева и действием тепловых эффектов гетерогенного превращения, что ограничивает возможность использования существующих методов неизотермической кинетики для определения вида и параметров кинетических уравнений;

– предложена методика расчета эффективной теплоемкости полифракционных дисперсных материалов, отличающаяся учётом температурно-временной и температурно-концентрационной зависимости истинной теплоемкости в условиях монотонного нагрева образцов, степени гетерогенного превращения в полифракционных дисперсных материалах на примере эндотермической реакции декарбонизации фосфорсодержащего рудного сырья.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– доказана с помощью вычислительных экспериментов взаимосвязь между гетерогенными эндотермическими превращениями и теплофизическими условиями протекания процессов термической декарбонизации;

– применительно к проблематике диссертации эффективно использован метод решения обратной задачи теплопроводности для проведения вычислительных экспериментов по исследованию температурных зависимостей теплоёмкости и теплопроводности полифракционных дисперсных материалов на примере фосфоритов, позволивший выявить возникновение значительных градиентов температур в полифракционных дисперсных материалах вследствие нестационарных условий нагрева и действия тепловых эффектов гетерогенного превращения;

– изложен алгоритм расчета теплофизических свойств полифракционных дисперсных материалов по их химическому составу, основанный на разработанной комбинированной математической модели теплопроводности, учитывающей их гетерогенное превращение, позволяющей рассчитывать коэффициент теплопроводности материала, а также удельную теплоемкость;

– раскрыто, что различия в теплофизических свойствах термически обрабатываемых рудных материалов даже в небольших пределах приводят к значительным изменениям в ходе протекания процесса обжига, изменению температур газа теплоносителя в плотном слое и на выходе из него, эффективности обжига и неравномерности степени декарбонизации по высоте многослойной массы рудного сырья;

– изучены особенности теплопроводности фосфорсодержащего рудного сырья, оказывающейся существенно меньшей при повторном нагреве из-за влияния взаимозависимых факторов – потока газообразных продуктов реакции диссоциации карбонатов, направленного навстречу тепловому потоку, и процессов термической декарбонизации обжигаемых рудных;

– проведена модернизация математических моделей термической подготовки дисперсного рудного сырья, благодаря которым выявлены закономерности, которые позволят сформировать энергоресурсоэффективные режимы термической подготовки фосфорсодержащего рудного сырья посредством интенсификации тепломассообменных процессов при высокотемпературном обжиге.

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

– разработаны и внедрены математические модели и компьютерные алгоритмы расчета, объединенные в комплекс программ, реализованный в виде информационной системы, позволяющей осуществлять расчет и оперирование данными о химическом составе и теплофизических свойствах образцов рудного сырья в цифровом виде, что позволило повысить оперативность выработки проектных решений и повысить энергоресурсоэффективность производства на предприятии ООО «НИИ-МАШ»;

– определены перспективы практического использования результатов диссертационного исследования на предприятии ООО «РусЭнергоПроект» при выполнении научно-исследовательских, прикладных и опытно-конструкторских работ по повышению энергоресурсоэффективности и надёжности оборудования для термической переработки рудного сырья;

– создана математическая модель термической подготовки дисперсного рудного сырья, благодаря которой выявлены закономерности, позволяющие сформировать энергоресурсоэффективные режимы термической подготовки фосфорсодержащего рудного сырья посредством интенсификации тепломассообменных процессов при высокотемпературном обжиге;

– представлена взаимосвязь между гетерогенными эндотермическими структурными превращениями и теплофизическими условиями эндотермического процесса декарбонизации, что позволит повышать энергоресурсоэффективность термической обработки фосфатного сырья при обогащении на обжиговых конвейерных и агломерационных машинах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– для экспериментальных работ отмечено качественное и количественное сов-

падение опытных и расчётных значений теплопроводности во всем диапазоне изменения температурных параметров;

– теория кинетики гетерогенных эндотермических реакций диссоциации карбонатов с учётом возникновения градиентов температур в исследуемых образцах подтверждается многочисленными проведенными вычислительными и натурными экспериментами. При этом точность определения параметров кинетических уравнений доведена до стадии практического использования для диапазонов температур термической обработки рудного сырья на обжиговых конвейерных и агломерационных машинах в химической, горно-обогатительной и металлургической промышленности;

– идея базируется на построении математических моделей сложного совмещенного тепломассообменно-химического процесса для понимания механизмов его протекания и определении степени его завершенности для решения проблемы рационального использования энергетических, топливных и сырьевых ресурсов для энергоёмких отраслей промышленности, основанных на теплотехнологии, например, для комплексной термической подготовки полидисперсного сырья, включающей нагрев, сушку или обжиг исходных материалов;

– использованы результаты, полученные при помощи экспериментальной термовесовой установки, разработанной соискателем для проведения дифференциально-термического анализа, которые позволили провести валидацию предложенных в диссертационном исследовании математических моделей процесса термической обработки дисперсных материалов;

– установлено что в интервале температур термической декарбонизации карбонатных минералов коэффициент теплопроводности изменяется в несколько раз, а истинная объёмная теплоёмкость уменьшается, в зависимости от концентрации карбонатов, при этом максимумы эффективной теплоёмкости превышают значения истинной теплоёмкости. Анализ экспериментальных данных и результатов решения обратной задачи теплопроводности позволил научно обосновано комплексно исследовать вид и параметры кинетического уравнения гетерогенной реакции декарбонизации и теплофизических свойств фосфоритов;

– использованы современные методы математического и компьютерного моделирования сложного СТМХП, позволяющие количественно описать влияние скорости нагрева образцов полидисперсного сырья на кинетику термического разложения реагирующих компонентов, для диапазонов температур аппаратов термической обработки на примере обжиговых и агломерационных машин с учетом макрокинетики реакции термической декарбонизации, учитывать влияние внутреннего теплообмена в реагирующем образце на макрокинетику термически активируемых химических реакций.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах разработки и реализации проведенного диссертационного исследования. Сформированные лично автором научные положения и выводы, содержащиеся в диссертаци-

онном исследовании, прошли апробацию в ООО «НИИМАШ», ООО «РусЭнерго-Проект», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания о том, что результаты работы требуют структуризации материалов, также необходимо усилить в работе описание апробации полученных результатов.

Соискатель Орехов В. А. ответил на все задаваемые в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию ответов на замечания ведущей организации, официальных оппонентов, учёных, приславших рецензии на автореферат диссертации.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.

Диссертационный совет рекомендует направить результаты диссертационного исследования Орехова В. А. в Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертационным советом сделан вывод, что рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции)).

На заседании 22 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные решения по разработке и валидации математических и компьютерных моделей сложного совмещенного тепломассообменно-химического процесса (на примере высокотемпературного обжига рудного фосфатного сырья), имеющих существенное значение для роста энергоэффективности промышленности страны, присудить Орехову В. А. ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Алексей Иванович
Шинкевич

Светлана Сергеевна
Кудрявцева

22.12.2023