

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.12
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.06.2025 № 12

О присуждении Пупышевой Елене Александровне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Система усовершенствованного управления процессом противоточной промывки красного шлама глиноземного производства» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите 23.04.2025, протокол заседания № 7, диссертационным советом ГУ.12 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 03.07.2023. № 1025 адм, с изменениями от 24.05.2024 № 780 адм, от 11.09.2024 № 1330 адм, от 05.11.2024 № 1659 адм.

Соискатель, Пупышева Елена Александровна, 06.09.1997 года рождения, в 2021 году с отличием окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

С 01.10.2021 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры автоматизации технологических процессов и производств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

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

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент **Федорова Эльмира Рафаэлевна**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра автоматизации технологических процессов и производств, доцент.

Официальные оппоненты:

Уткин Лев Владимирович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», институт компьютерных наук и безопасности, высшая школа технологий искусственного интеллекта, профессор;

Ремизова Ольга Александровна – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», кафедра автоматизации процессов химической промышленности, доцент; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**, Москва в своем положительном отзыве, подписанном Тёмкиным Игорем Олеговичем, доктором технических наук, заведующим кафедрой автоматизированных систем управления, и утвержденном Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям, указала, что полученные Пупышевой Еленой Александровной результаты вносят вклад в развитие теории и практики интеллектуального управления технологическими процессами в гидрометаллургии. Разработанные в работе математические модели, алгоритм программно-управляемого датчика и структура усовершенствованной системы управления могут быть использованы в качестве основы для последующих исследований в области цифровизации, прогнозного управления и построения интеллектуальных SCADA-систем для технологических объектов высокой инерционности и сложности.

Соискатель имеет 8 печатных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях 5 работ, в том числе в 2 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 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 3,18 печатных листов, в том числе 2,47 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Федорова, Э.Р. Разработка программного тренажера сгустителя красного шлама/ Э.Р. Федорова, В.В. Моргунов, **Е.А. Пупышева** // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022, №5. стр. 10-18. DOI: 10.25791/asu.6.2022.1368. (№ 2310 Перечня ВАК ред.01.02.2022).

Соискателем проведен комплексный научно-технический анализ и разработка программного тренажера для моделирования процесса сгущения красного шлама, основанного на математической модели, учитывающей ключевые физико-химические и технологические аспекты, такие как флокуляция твердых частиц, их осаждение, консолидация осадка и распределение потоков в объеме аппарата. Созданный тренажер представляет собой виртуальный аналог объекта управления, позволяющий имитировать работу сгустителя в условиях, приближенных к реальным, с возможностью настройки параметров управления и анализа их влияния на эффективность процесса.

2. Федорова, Э.Р. Современные тенденции в области моделирования металлургических процессов и модернизации уровней АСУ ТП. Международный и отечественный опыт. / Э.Р. Федорова, Л.А. Русинов, А.С. Симаков, **Е.А. Пупышева**// Промышленные АСУ и контроллеры. – 2023, №12. стр. 09-21. DOI: 10.25791/asu.12.2023.1474. (№ 2310 Перечня ВАК ред.01.02.2022).

Соискателем проведен системный анализ проблем и современных подходов к моделированию и управлению металлургическими процессами с учетом тенденций автоматизации и цифровизации производства. В работе обоснована необходимость применения гибридных моделей, сочетающих методы численного моделирования, машинного обучения и анализа больших данных, что обусловлено высокой инерционностью, многосвязностью параметров, сложной структурой и значительным запаздыванием металлургических процессов.

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

3. Fedorova, E. Modelling of Red-Mud Particle-Solid Distribution in the Feeder Cup of a Thickener Using the Combined CFD-DPM Approach / E. Fedorova, **E. Pupysheva**, V. Morgunov // Symmetry. – 2024. – Vol. 16 (1). – Issue 114. – PP. 1-12. DOI: 10.3390/sym14112314

Федорова Э.Р. Моделирование распределения твёрдой фазы красного шлама в питающем стакане сгустителя с использованием комбинированного подхода CFD-DPM / Э.Р. Фёдорова, **Е.А. Пупышева**, В.В. Моргунов // Симметрия. – 2024. – Т. 16. – № 1 (114). – С. 1–12. DOI: 10.3390/sym14112314

Соискателем проведен анализ показателей качества компонентов, участвующих в процессе флокуляции твердых частиц красного шлама в питающем колодце сгустителя. С использованием методов численного моделирования исследованы гидродинамические характеристики потока и процессы агрегации частиц под воздействием флокулянта. В рамках работы реализован комплексный подход, сочетающий вычислительную гидродинамику (CFD) и дискретную модель частиц (DPM), что позволило с высокой точностью воспроизвести реальные условия внутри питающего стакана.

4. Федорова Э.Р. Определение параметров осаждения при сгущении и промывке красных шламов / Э.Р. Федорова, **Е.А. Пупышева**, В.В. Моргунов // Цветные металлы. – 2023. – № 4. – С. 63-71. DOI: 10.17580/tsm.2023.04.10.

Соискателем проведен всесторонний анализ процессов сгущения и промывки красных шламов, образующихся при переработке бокситовой руды по методу Байера. В условиях роста объемов переработки низкосортного сырья особое внимание уделено снижению остаточного содержания гидроксида натрия в шламе перед его удалением в хранилища. Исследование направлено на обоснование необходимости контроля соотношения жидкой и твердой фаз (Ж/Т) на различных стадиях технологического процесса и включает рассмотрение ключевых зон радиального сгустителя: флокуляции, свободного и стесненного осаждения, а также зоны работы граблин.

5. Fedorova, E. Modeling of Particle Size Distribution in the Presence of Flocculant / E. Fedorova, **E. Pupysheva**, V.Morgunov // Symmetry. – 2024. – Vol. 16 (1). – Issue 114. – PP. 1-17. DOI: 10.3390/sym16010114.

Федорова Э.Р. Моделирование распределения частиц по размерам в присутствии флокулянта / Э.Р. Фёдорова, **Е.А. Пупышева**, В.В. Моргунов // Симметрия. – 2024. – Т. 16. – № 1 (114). – С. 1–17. DOI: 10.3390/sym16010114

Соискателем проведен комплексный анализ процессов агрегации твердых частиц в присутствии флокулянта на основе построения и реализации математической модели, основанной на уравнении баланса популяции. Модель разработана на языке программирования Python. В результате численных экспериментов установлены закономерности, определяющие степень агрегации и распределение размеров флокул в зависимости от характеристик суспензии и параметров дозирования флокулянта.

Публикации в прочих изданиях:

6. Fedorova, E. Algorithm to distribute feed pulp between paralleled thickeners during red-sludge thickening and washing in alumina production/

E. Fedorova, N. Vasilyeva, **E. Pupysheva**// Journal of Physics: Conference Series/ – 2019– Vol. 1333. – Issue 4. – PP. 1-5. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/4/042007.

Федорова Э.Р. Алгоритм распределения пульпы между параллельно работающими сгустителями при уплотнении и промывке красного шлама в производстве глинозёма / Э.Р. Федорова, Н.В. Васильева, **Е.А. Пупышева** // Журнал физики: Серия конференций. – 2019. – Т. 1333. – № 4. – С. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/4/042007

Соискателем проведен анализ процесса сгущения и разработка алгоритма управления распределением питающей пульпы между параллельно работающими сгустителями в процессе сгущения и промывки красного шлама при производстве глинозема. Разработанный алгоритм обеспечивает стабилизацию объемной доли твердой фазы в уплотнённом продукте в пределах заданных значений, а также минимизацию потерь твердой фазы с алюминатным раствором.

7. Пупышева, Е. А. Комбинированный CFD-DEM подход для оценки флокуляции металлургических пульп / **Е.А. Пупышева** // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. Том 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 404-405.

Соискателем показано, что интеграция PBE-моделей в CFD-среду позволяет описывать пространственно-временные изменения гранулометрического состава и учитывать влияние характеристик потока на структуру флокул. Отмечены ограничения существующих моделей в учёте физических свойств агрегатов, а также высокая вычислительная нагрузка при реализации динамических подходов. В качестве альтернативы предложено использование комбинированных методов, обеспечивающих баланс между точностью и вычислительной эффективностью при исследовании процессов флокуляции и осаждения в аппаратах с большим внутренним объёмом.

8. Пупышева, Е. А. Обоснование применения современных методов компьютерного моделирования для оценки процесса флокуляции в сгустителе красного шлама / **Е.А. Пупышева** // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сборник научных трудов XXII международной научно-технической конференции аспирантов и студентов – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2022. – С. 284-286.

Соискателем проведен анализ особенностей моделирования процесса сгущения красного шлама с учетом высокой инерционности, многосвязности и сложности внутренних подпроцессов, характерных для крупногабаритных

металлургических агрегатов. Отдельное внимание уделено невозможности прямого контроля параметров флокуляции в реальном времени, что подчеркивает значимость численного моделирования как инструмента для оптимизации конструкции и управления технологическим процессом. Полученные результаты демонстрируют потенциал цифрового моделирования как средства повышения точности расчетов и разработки эффективных стратегий управления процессами в металлургической промышленности.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619089 Российская Федерация. Программа для расчета гранулометрического состава агрегированной пульпы. Заявка № 2022618597: заявл. 13.05.2022: опубл. 19.05.2022 / Э.Р. Федорова, **Е.А. Пупышева**; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт Петербургский горный университет». – 1 с.

Соискатель разработала модель процесса флокуляции с учетом агрегации и деагрегации частиц, реализующую расчет распределения частиц по размерам как в динамике, так и по завершении процесса.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022683727 Российская Федерация. Программа для расчета средневзвешенного диаметра частиц. Заявка № 2022682966: заявл. 30.11.2022: опубл. 08.12.2022/ Э.Р. Федорова, **Е.А. Пупышева**, В. В. Моргунов; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт Петербургский горный университет». – 1 с.

Соискатель разработала программу, позволяющую проводить численное моделирование процесса агрегации твердых частиц в питающем стакане радиального сгустителя для расчета средневзвешенного диаметра флоккул на выходе из зоны флокуляции.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614660 Российская Федерация. Программа для расчета релаксационной схемы осаждения металлургической пульпы в сгустителе. Заявка № 2024611647: заявл. 31.01.2024: опубл. 28.02.2024 / Э. Р. Федорова, **Е.А. Пупышева**; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» – 1 с.

Соискатель разработала программу, обеспечивающую расчет высоты уплотненного продукта, определение распределения концентрации твердого

вещества по высоте ниже питающего стакана, а также вычисление концентрации на выходе из сгустителя.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2022 года, Санкт-Петербург),
- XXII Международная научно-техническая конференция «Автоматизация технологических объектов и процессов, Поиск молодых» (май 2022 года, Донецк),
- 5-ый Международный семинар «Новые средства и системы автоматизации в горно-обогатительном производстве, металлургии и экологии» (октябрь 2022 года, Москва),
- XI форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства (декабрь 2022 года, Минск),
- XXXI Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2023» (февраль 2023 года, Москва),
- Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (апрель 2023 года, Санкт-Петербург),
- XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2023 года, Санкт-Петербург),
- XX Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (декабрь 2024 года, Санкт-Петербург).

В диссертации Пупышевой Елены Александровны отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», д.т.н., доцента **Р.В. Ключева**; заведующего научно-исследовательской лабораторией АО «ВНИИ Галургии» **Д.В. Горленкова**; профессора кафедры теплофизики и информатики в металлургии, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого президента России Б.Н. Ельцина», д.т.н., доцента **В.В. Лаврова**; заместителя начальника отдела проектирования ООО «Сумма технологий», к.т.н. **И.В. Пантюшина**; директора Департамента Автоматизации ООО «НОВОМЭК ПРОММАШ» **В.М. Полянского**;

заведующего кафедрой «Горная электротехника и автоматика им. Р.М. Лейбова», ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», д.т.н., профессора **К.Н. Маренича**; директора Инжинирингового центра ФГБОУ ВО «ДонГТУ», к.т.н **А.Б. Таровика**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. В тексте встречаются повторы (например, многократное упоминание погрешности модели в 13%). (д.т.н. **Р.В. Ключев**);
2. Термины вроде «стесненного осаждения» или «индекс стеснённого осаждения» требуют дополнительных пояснений. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);
3. Описание экспериментальной верификации модели (например, лабораторные опыты с микроскопом АОМІКІЕ) недостаточно детализировано. Нет информации об условиях контроля погрешностей. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);
4. Утверждение о «высокой природной вариабельности исходных данных» (стр. 13) требует подтверждения статистическими данными. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);
5. Не указано, как учитывались сезонные колебания (упомянутые на стр. 17) в модели, что важно для оценки устойчивости решения. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);
6. Следует указать процентное улучшение показателей по сравнению с традиционными методами управления. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);
7. Насколько универсальной является разработанная математическая модель агрегации и деагрегации: может ли она быть применена для других типов пульп или в условиях, отличных от рассматриваемого глиноземного производства? (**Д.В. Горленков**);
8. Возможно ли масштабирование предложенного подхода на другие стадии гидрометаллургического передела? (**Д.В. Горленков**);
9. В автореферате упоминается взаимодействие прогнозной модели с системой управления через REST API. Уточните, ограничивается ли обмен данными передачей выходных результатов модели, или также предусматривается получение и обработка текущих параметров технологического процесса в реальном времени? (**Д.В. Горленков**);
10. На с. 16 автореферата автор отмечает сезонную изменчивость эффекта экономии щелочи (NaOH), в частности, падение эффективности во

втором полугодии (июль-декабрь). Какие конкретные коррективы параметров модели и алгоритмов регулирования планируется внести для нивелирования климатических факторов? (д.т.н. **В.В. Лавров**);

11. В работе отмечено (с.18 автореферата), что математическая модель агрегации и деагрегации частиц КШ, выступающая в качестве основы программно-управляемого датчика (soft sensor) в составе СУУ ТП, дает погрешность не более 13%, которая признана удовлетворительной. Однако не раскрыт допуск по диаметру флокул в регламент предприятия. Соответствует ли указанная точность требованиям качественного показателя промывки? (д.т.н. **В.В. Лавров**);

12. Верификация модели проводилась на промывателях диаметром 20 м. Какие параметры подлежат пересчёту при масштабировании модели и тиражировании автоматизированной системы на аппараты другого типоразмера или на шламы с отличной минералогией? (д.т.н. **В.В. Лавров**);

13. На с. 15 автореферата указано, что модель прогнозирования использует эмпирические параметры, полученные с помощью технологии машинного зрения. Как обеспечивается качество и точность извлечения данных из видеопотока? (д.т.н. **В.В. Лавров**);

14. Какие требования к вычислительной мощности и сетевой инфраструктуре действующей на предприятии АСУ ТП предъявляет развертывание программного REST-сервиса и блока нелинейной оптимизации? (д.т.н. **В.В. Лавров**);

15. Как решаются вопросы кибербезопасности при интеграции предложенного решения в цифровую структуру предприятия? (д.т.н. **В.В. Лавров**);

16. Предусматривает ли структура прогнозной модели противоточной промывки возможность адаптации к промывателям иной конструкции? (к.т.н. **И.В. Пантюшин**);

17. Какова была роль технологии машинного зрения при разработке обобщенной модели промывателя, и планируется ли её применение за пределами лабораторного этапа? (к.т.н. **И.В. Пантюшин**);

18. Используются ли данные в реальном времени в разработанной системе управления или расчеты носят офлайн-характер? (к.т.н. **И.В. Пантюшин**);

19. Насколько универсальна разработанная модель агрегации флокул по отношению к шламам с иным гранулометрическим составом? Требуется ли повторная калибровка при изменении геологии сырья? (**В.М. Полянский**);

20. Представляется актуальным рассмотреть возможность масштабирования предложенной структуры СУУ ТП на иные стадии глиноземного производства, например, сгущение или фильтрацию? **(В.М. Полянский);**

21. Текст раздела «Степень проработанности темы» сведен к перечислению имён учёных и инженеров, внесших вклад в развитие техники и технологии профильного направления. Однако нет обобщений в отношении достигнутых ими результатов и остающихся проблемных вопросов, что затрудняет восприятие актуальности цели исследования. (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

22. Очевидно, что система усовершенствованного управления технологическим процессом является следствием диссертационного исследования автора. Поэтому в формулировке объекта исследования речь должна идти о системе управления технологическим процессом, как таковой. (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

23. Из текста автореферата не ясно, чем объясняется чередование роста и снижения до нуля весовой доли частиц в диапазоне их диаметров от 20 мкм до 240 мкм на графике (рисунок 1). (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

24. Возможно ли масштабирование лабораторного эксперимента по определению размеров флокулов на условия промышленного агрегата, и насколько это влияет на точность и применимость разработанной модели в производственной среде? (к.т.н. **А.Б. Таровик**);

25. Каким образом определяются допустимые пределы для коррекции управляющих воздействий, чтобы избежать перерегулирования или нарушения устойчивости процесса? (к.т.н. **А.Б. Таровик**);

26. По какой причине в работе для оценки параметров осаждения применялась технология машинного зрения, а не использовались традиционные методы визуального наблюдения и ручной обработки результатов? (к.т.н. **А.Б. Таровик**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентности в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

установлена зависимость между исходным гранулометрическим составом пульпы красного шлама и средневзвешенным диаметром сфлуктурированных частиц, формирующихся в питающем стакане промывателя, что позволило

учитывать влияние нестационарности сырьевого потока на параметры процесса осаждения;

разработана и экспериментально обоснована математическая модель агрегации и деагрегации частиц красного шлама в присутствии флокулянта, основанная на популяционном балансе. Модель позволяет рассчитывать не только средневзвешенный диаметр флокул, но и распределение по размерам, что является основой для построения программно-управляемого датчика как элемента прогностической системы управления;

предложена структура системы усовершенствованного управления технологическим процессом противоточной промывки красного шлама, в которой реализована совместная работа прогнозной модели промывки и программно-управляемого датчика, предназначенного для определения неизмеряемого параметра, обеспечивая адаптацию системы к колебаниям входного потока и автоматизированное регулирование режима флокуляции.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены положения и принципы построения программно-управляемого датчика для косвенного измерения процесса флокуляции в условиях невозможности прямых измерений;

раскрыты ограничения существующих моделей промывки и причины их недостаточной адаптивности к переменному грансоставу и нестабильным условиям потока;

изучены причинно-следственные связи между изменениями гранулометрического состава пульпы и колебаниями диаметра флокул, влияющими на эффективность осаждения;

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

разработаны и внедрены в 2025 году в производственную деятельность АО «Моделирование и Цифровые двойники» при решении задач по моделированию процессов агрегации и деагрегации частиц, а также обоснованию и настройке параметров технологических стадий (акт о внедрении от 12.03.2025), что подтверждает их прикладную направленность и востребованность в инженерной практике;

предложена и реализована модель агрегации и деагрегации красного шлама в присутствии флокулянта на основе популяционного баланса, встроенная в состав программно-управляемого датчика (soft sensor) для косвенного измерения среднего диаметра флокул из-под питающего стакана и распределения флокул по размеру в процессе флокуляции и по её завершении с учётом возможной деагрегации частиц. Разработка защищена

свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ №20222619089 и №2022683727 соответственно.

предложена и реализована прогнозная модель противоточной промывки красного шлама, встроенная в состав СУУ ТП. Модель основана на обобщённой модели промывателя и модели противоточной промывки. Программный код обобщённой модели промывателя защищён свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024614660.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на современной научной базе, включающей исследования в области автоматизации технологических процессов в гидрометаллургии, моделирования процессов агрегации и промывки, применения систем технического зрения и программно-управляемых датчиков, что подтверждается публикациями в рецензируемых изданиях и регистрацией программных продуктов;

идея базируется на анализе практики противоточной промывки красного шлама на действующих предприятиях и выявлении ограничений существующих систем управления, что позволило разработать и обосновать применение новой структуры усовершенствованного управления с включением прогнозной модели и виртуального датчика;

использованы общенаучные и специализированные методы: сравнительный анализ, лабораторные исследования, математическое моделирование, численные методы расчёта, методология популяционного баланса, алгоритмы аппроксимации эмпирических данных, методы верификации на лабораторных и архивных производственных данных;

установлено соответствие результатов поставленным задачам исследования, подтверждена их воспроизводимость при моделировании и экспериментальной проверке, а также обеспечено отсутствие противоречий между выводами и теоретико-методологической основой диссертационной работы.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и формулировке задач диссертационного исследования; анализе отечественной и зарубежной литературы по вопросам управления процессами противоточной промывки красного шлама, моделирования процессов агрегации и флокуляции частиц; обосновании выбора модели популяционного баланса для описания динамики агрегации в условиях действия флокулянта; разработке и программной реализации (на языке Python) математической модели агрегации и деагрегации красного шлама с учётом гранулометрического состава; построении прогнозной модели

обобщённого промывателя с расчётом концентрационного поля и содержания NaOH на выходе; разработке структуры программно-управляемого датчика для косвенного измерения средневзвешенного диаметра флокул; верификации моделей на основе лабораторных опытов и сопоставлении результатов с архивными данными с исследуемого предприятия; обосновании структуры системы усовершенствованного управления технологическим процессом с интеграцией программно-управляемого датчика и прогностических алгоритмов; разработке программных модулей, на которые оформлены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (№2022619089, №2022683727, №2024614660), а также в подготовке и оформлении акта внедрения результатов исследования.

В ходе защиты диссертации критических замечаний не было высказано.

Соискатель **Пупышева Елена Александровна** ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 25 июня 2025 года диссертационный совет ГУ.12 принял решение присудить **Пупышевой Елене Александровне** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи уменьшения объемной доли жидкой фазы в пульпе из-под конуса каждого промывателя и поддержания содержания щелочи на последнем этапе процесса противоточной промывки красного шлама глиноземных производств.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Бажин
Владимир Юрьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Васильева
Наталья Васильевна

25.06.2025