

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 17.09.2025 № 22

О присуждении Пайору Владимиру Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка системы автоматического управления левитационным плавлением металлов» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите 14.07.2025, протокол заседания № 18, 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 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, Пайор Владимир Алексеевич, 21 января 1997 года рождения, в 2021 году с отличием окончил 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 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, **Кульчицкий Александр Александрович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра автоматизации технологических процессов и производств, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Шишлаков Владислав Фёдорович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный

университет аэрокосмического приборостроения», институт Киберфизических систем, директор;

Дударенко Наталия Александровна – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», факультет систем управления и робототехники, доцент факультета; дали положительные отзывы о диссертации.

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, проректором по науке и инновациям, указала, что полученные Пайором Владимиром Алексеевичем результаты вносят вклад в развитие теории и практики управления технологическим процессом левитационной плавки металлов в магнитном поле. Представленные в работе численные модели, алгоритм системы технического зрения и способ стабилизации положения расплавленного металла в индукторе могут быть использованы в качестве основы для последующих исследований в области управления и построения цифровых двойников технологических процессов.

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 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 международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 2,69 печатных листов, в том числе 1,79 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Кульчицкий, А. А. Численная модель как компонент системы управления электромагнитной плавкой металлов во взвешенном состоянии / А. А. Кульчицкий, Л. А. Русинов, М. Ю. Шестопапов, В. А. Пайор // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2025. – № 70(96). – С. 100-103.

Соискателем выполнена разработка ключевых компонентов численной модели процессов электромагнитной плавки металлов во взвешенном состоянии. Проведена параметризация модели и разработка алгоритмов ее интеграции в контур системы управления технологическим процессом. В результате выполненных вычислительных экспериментов получены и проанализированы данные, верифицирующие адекватность модели и ее работоспособность в составе системы управления.

2. Кульчицкий, А. А. Анализ влияния неоднородности электромагнитного поля на удерживание расплава при левитационной плавке / А. А. Кульчицкий, В. А. Пайор // Современные наукоемкие технологии. – 2025. – № 2. – С. 60-64.

Соискателем выполнено исследование влияния неоднородности электромагнитного поля на стабильность удерживания металлического расплава при левитационной плавке. Проведен анализ результатов экспериментальных измерений распределения поля и динамики расплава, а также выполнено математическое моделирование исследуемых процессов. В результате проведенной работы получены и проанализированы зависимости, количественно характеризующие влияние неоднородностей поля на параметры устойчивости левитирующего образца.

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

3. Boikov, A. Synthetic Data Generation for Steel Defect Detection and Classification Using Deep Learning / A. Boikov, V. Payor, R. Savelev, A. Kolesnikov // Symmetry. – 2021. – Vol. 13, № 7. – Pp. 1-10.

Бойков, А. Генерация синтетических данных для обнаружения и классификации дефектов стали с использованием глубокого обучения / А.Бойков, В. Пайор, Р. Савельев, А.Колесников // Симметрии. – 2021. – Т. 13, № 7. – С. 1-10.

Соискателем проведена разработка и программная реализация методов генерации синтетических изображений дефектов стальной поверхности. Выполнены эксперименты по обучению и оценке сверточных нейронных сетей на синтетических и реальных наборах данных для задач обнаружения и классификации дефектов. В результате проведенной работы получены и проанализированы ключевые результаты, характеризующие качество синтетических данных и эффективность моделей. Соискателем представлен вклад в подготовку текста научной публикации, включая описание методологии и анализ полученных результатов.

4. Boikov, A. The Present Issues of Control Automation for Levitation Metal Melting / A. Boikov, V. Payor // Symmetry. – 2022. – Vol. 14, № 10. – Pp. 1-12.

Бойков, А. Актуальные проблемы автоматизации левитационной плавки / А.Бойков, В. Пайор // Симметрии. – 2022. – Т. 14, № 10. – С. 1-12.

Соискателем выполнено математическое моделирование процессов левитационной плавки металлов и анализ проблем автоматизации управления. Проведена разработка и исследование алгоритмов управления для обеспечения устойчивости технологического процесса. В результате выполненных расчетов получены и проанализированы ключевые характеристики системы, определяющие эффективность предложенных решений. Соискателем представлен вклад в подготовку текста публикации, включая описание методологии управления и интерпретацию результатов моделирования.

5. Бойков, А. В. Система технического зрения для мониторинга левитационной плавки цветных металлов / А. В. Бойков, В. А. Пайор // Цветные металлы. – 2023. – № 4. – С. 85-89.

Соискателем разработаны вычислительные алгоритмы обработки изображений и видео-аналитики для мониторинга процесса левитационной плавки цветных металлов. Выполнена разработка и программная реализация функциональных модулей системы технического зрения, адаптированных к условиям высокотемпературной среды. В результате выполненных испытаний получены и проанализированы экспериментальные данные, подтверждающие работоспособность системы в условиях производственной среды.

Публикации в прочих изданиях:

6. Пайор, В. А. Методика определения положения металла во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе / В. А. Пайор, А. В. Бойков // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2023. – № 1-2. – С. 127-130.

Вклад соискателя в данную публикацию заключался в разработке и представлении новой методики для определения положения расплавленного металла, удерживаемого во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе.

7. Пайор, В. А. Система технического зрения для контроля левитационной плавки / В. А. Пайор // XI Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сборник материалов, г. Минск, 12-16 декабря 2022 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 208-210.

Основной вклад соискателя как единственного автора данной публикации заключался в разработке и представлении специализированной системы технического зрения для контроля процесса левитационной плавки металлов. Соискатель предложил, реализовал и протестировал метод визуального мониторинга, направленный на повышение точности управления положением и состоянием расплава, удерживаемого в бесконтактном состоянии высокочастотным индуктором, что имеет важное значение для промышленного применения этой технологии.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662416 Российская Федерация. Программа для автоматического определения положения образца металла в коническом индукторе. Заявка №2023661512: заявл. 05.06.2023: опубл. 07.06.2023 / А.В. Бойков, В.А. Пайор; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.

Соискателем выполнена разработка и программная реализация алгоритма системы технического зрения для автоматического определения положения образца металла в коническом индукторе.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- XI форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства, (декабрь 2022 г., Минск);
- XXXI Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2023», (февраль 2023 г., Москва);
- XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2023, Санкт-Петербург),
- Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2023», (май 2023 г., Томск);
- XX Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (декабрь 2024 г., Санкт-Петербург).

В диссертации Пайора Владимира Алексеевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего научно-исследовательской лабораторией АО «ВНИИ Галургии» **Д.В. Горленкова**; заведующего кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Высшей школы технологии и энергетики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», к.т.н., доцента **Д.А. Ковалева**; профессора кафедры автоматики и процессов управления, ФГБОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д.т.н., профессора **С.Е. Душина**; главного специалиста отдела экологического сопровождения проектов обособленного подразделения ООО «Цветметинжиниринг» в г. Санкт-Петербурге, к.т.н. **Д.А. Бабенко**; заведующего кафедрой автоматики и компьютерных технологий ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», к.т.н., доцента **В.С. Бочкова**.

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 следующие замечания:

1. В работе утверждается, что система технического зрения способна обрабатывать изображения с частотой от 40 до 60 кадров в секунду. Достаточно ли этой частоты для обеспечения необходимой точности контроля положения расплава в динамических условиях процесса плавки? (к.т.н. **Д.С. Горленков**);
2. Насколько универсальна разработанная система для различных типов металлов и сплавов? Проведены ли исследования по адаптации системы для работы с металлами, отличающимися по физическим и электромагнитным свойствам от алюминия? (к.т.н. **Д.С. Горленков**);
3. Существуют ли ограничения по размеру и массе образца металла, для которого разработана система стабилизации? Проведены ли исследования по масштабированию системы для работы с более крупными или мелкими образцами? (к.т.н. **Д.С. Горленков**);

4. В работе уделено внимание разработке системы для установки с одним индуктором. Насколько предложенный метод применим к многоиндукторным установкам с учетом взаимодействия между индукторами в многоиндукторным нагревателям? (к.т.н. **Д.А. Ковалев**);

5. В диссертации описаны алгоритмы стабилизации положения расплава. Насколько реально их внедрение на существующих промышленных контроллерах с ограниченными вычислительными ресурсами? (к.т.н. **Д.А. Ковалев**);

6. Была ли проведена оценка долговечности и надёжности компонентов системы в условиях высоких температур и агрессивных сред, характерных для процесса левитационной плавки? (к.т.н. **Д.А. Ковалев**);

7. Какие меры предусмотрены для обеспечения надёжности работы системы технического зрения в условиях высокой запылённости и задымлённости, характерных для металлургического производства? (д.т.н. **С.Е. Душин**);

8. В диссертации описаны алгоритмы стабилизации положения расплава. Насколько реально их внедрение на существующих промышленных контроллерах с ограниченными вычислительными ресурсами? (к.т.н. **Д.А. Бабенко**);

9. Учитывает ли предложенный метод стабилизации положения расплава изменение геометрии металла при его расплавлении?

10. Как им образом предложенная система управления может быть адаптирована к другим металлам, помимо тех, что были рассмотрены в работе? (к.т.н. **Д.А. Бабенко**);

11. Из текста реферата не ясен функционал параметра C_{MAX} в алгоритме определения положения образца металла в индукторе и с каким параметром он сравнивается? (к.т.н. **В.С. Бочков**);

12. На основе чего определялись приведенные значения ограничений (4), используемые в процедуре оптимизации? (к.т.н. **В.С. Бочков**).

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 выталкивающей силы, действующей на металл в магнитном поле, от его положения в коническом индукторе;

разработана и экспериментально верифицирована быстродействующая численная модель электромагнитного поля в индукторе установки левитационной плавки металла при различных положениях расплава в индукторе для использования в составе системы стабилизации его положения;

предложен метод оперативного контроля положения расплава в индукторе на основе анализа видеопотока с применением алгоритма компьютерного зрения, позволяющего определять положение расплава с частотой до 60 кадров/сек, что делает его пригодным для применения в составе системы управления в реальном времени.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: применительно к проблематике диссертации результативно **использован** метод конечных элементов для построения численной модели магнитного поля конического индуктора со противовитком;

изложены принципы управления процессом левитационной плавки на основе численной модели. Предложена схема системы автоматической стабилизации положения металла на основе численной модели и алгоритма оптимизации Нелдера-Мида, позволившая уменьшить амплитуду колебаний металла.

изучено влияние положения образца металла в индукторе на коэффициент неоднородности магнитного поля, действующего на металл;

раскрыты существующие ограничения применимости численных моделей как компонентов системы автоматического управления технологическими процессами на основе цифровых двойников.

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

разработана и внедрена в практику расчетов процессов плавления металлов индукционным способом в АО «Моделирование и Цифровые двойники» численная модель распределения электромагнитного поля в индукторе установки левитационной плавки металла при различных положениях расплава в индукторе, что подтверждает их практическую направленность.

определены численные значения коэффициента, характеризующего выталкивающее действие магнитного поля на металл;

разработано алгоритмическое обеспечение и программное обеспечение для автоматического определения положения образца металла в коническом индукторе (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662416 от 07.06.2023);

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов оценки качества сегментации образца системой технического зрения в различных условиях.

теория построена на известных, проверяемых данных, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Исследование зависимости геометрической конфигурации электромагнитного поля от положения расплава и тока индуктора осуществлялось с применением методов численного моделирования с применением программных пакетов Agros2D, Gmesh и GetDP реализующих метод конечных элементов.

идея базируется на анализе практики, обобщении передового опыта в области систем технического зрения и применения цифровых двойников технологических процессов.

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и формулировке задач и методики научного исследования; проведении научного анализа литературных и патентных источников; проведении лабораторных исследований; разработке алгоритмов и реализации программного обеспечения

системы автоматического управления; научном обобщении полученных результатов исследований и подготовке публикаций; разработке комплекса мероприятий, включающего теоретические изыскания, лабораторные эксперименты, численное моделирование и апробацию в условиях, максимально приближенных к реальным; обосновании применения технического зрения и разработке алгоритмического обеспечения для подсистемы оперативного мониторинга положения расплава в индукторе; построении быстродействующей численной модели распределения электромагнитного поля в индукторе установки левитационной плавки металла при различных положениях расплава; предложении способа управления и алгоритмов для системы автоматической стабилизации левитационного плавления металлов на основе данных численного моделирования и положения металла в режиме реального времени.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

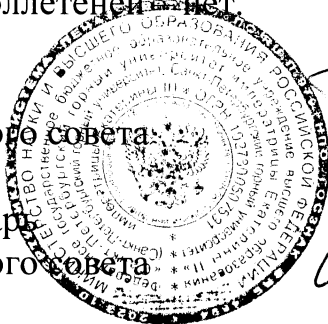
Соискатель Пайор В.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 17 сентября 2025 диссертационный совет принял решение присудить **Пайору Владимиру Алексеевичу** ученую степень кандидата технических наук за новые научно обоснованные технические решения и разработки в области управления процессом левитационного плавления металлов с целью снижения амплитуды колебаний, совершаемых материалом в коническом индукторе, для предотвращения его контактов с поверхностью индуктора.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета:

Ученый секретарь
диссертационного совета:



Бажин
Владимир Юрьевич

Васильева
Наталья Васильевна

17.09.2025 г.