

ОТЗЫВ

официального оппонента **профессора, доктора технических наук Шишлакова Владислава Фёдоровича** на диссертацию **Пайора Владимира Алексеевича** на тему: «Разработка системы автоматического управления левитационным плавлением металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

1. Актуальность темы диссертации

Электромагнитная плавка во взвешенном состоянии — это процесс бесконтактного нагрева и плавления металлов в электромагнитном поле высокой частоты, при котором металл удерживается в подвешенном состоянии за счёт вихревых токов и взаимодействия с магнитным полем индуктора. Данный метод позволяет минимизировать контакт расплава с окружающей средой, обеспечивая получение металлов сверхвысокой чистоты, что критически важно для производства высокотехнологичной продукции. Одной из ключевых сложностей, затрудняющих промышленное применение данной технологии, является удержание расплавляемого металла в процессе электромагнитной левитации.

Современные исследования сосредоточены на улучшении конструкции индукторов. При этом, развитие методов численного моделирования, развитие бесконтактных средств измерений и систем управления создает основу для разработки автоматизированной системы стабилизации расплава. Данная система направлена на предотвращение контакта расплава с поверхностью индуктора и снижение рисков аварий. Внедрение системы стабилизации расплава в индукторе позволит повысить качество металла и расширить применение левитационной плавки в различных отраслях промышленности.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-34 от 03.09.25
А У У С

Таким образом, актуальность данной работы обусловлена наличием технических проблем и перспектив их решения, что делает ее значимой как в теоретическом, так и в практическом плане.

2. Научная новизна диссертации

Новизна представленной диссертационной работы заключается в научном обосновании схемных и алгоритмических решений, направленных на решение задачи предотвращения контакта образца металла, расплавляемого в магнитном поле, поверхностью индуктора.

Автором разработано и реализовано алгоритмическое обеспечение системы технического зрения для мониторинга положения металла в индукторе. Внедрение подсистемы технического зрения в состав системы автоматического управления левитационном плавлением позволяет оперативно получать данные о положении расплава и на их основе формировать управляющие воздействия.

Предложен способ управления и алгоритмы для системы автоматической стабилизации левитационного плавления металлов, основанные на данных численного моделирования и положения образца металла в индукторе.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Обоснованность научных выводов и рекомендаций гарантируются корректной формулировкой научно-технической проблемы. Теоретическая и эмпирическая базы исследования опираются на признанные труды отечественных и зарубежных специалистов.

Представленная в работе система технического зрения для мониторинга положения расплава в индукторе, базирующаяся на современных методах цифровой обработки изображений. Представленный метод подробно описан, а валидация предложенного алгоритма

продемонстрирована на программно-синтезированной выборке изображений, что позволяет обеспечить высокую степень достоверности результатов.

Представленные в работе алгоритмические решения защищены свидетельством о государственной регистрации, что также подчёркивает завершенность данной работы. Применение полученных результатов в прикладной практике также подтверждает достоверность научных положений и применимость разработанных подходов.

4. Научные результаты, их ценность

Результаты, полученные автором направлены на решение актуальной научно-технической задачи управления сложным технологическим процессом. Интеграция численной модели в состав системы автоматического управления,

Результаты диссертационного исследования представлены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий из перечня ВАК и в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus. Также получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Для стабилизации положения расплавляемого металла в индукторе предложено использовать численную модель магнитного поля в системе управления левитационной плавки.

Определена зависимость выталкивающей силы, действующей на металл в магнитном поле, от его расположения в индукторе, а также экспериментально установлены числовые значения коэффициента, характеризующего выталкивающее воздействие магнитного поля на металл.

Предложен метод нахождения управляющих воздействий, основанный на алгоритме Нелдера — Мида и быстродействующей численной модели.

Разработана и реализована система автоматической стабилизации расплавляемого металла в индукторе с использованием данных визуального мониторинга его положения с применением алгоритмов технического зрения.

По результатам проделанной работы получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, реализующей алгоритмическое обеспечение системы технического зрения (свидетельство о госрегистрации № 2023662416).

Результаты исследований внедрены в деятельность компании АО «Моделирование и Цифровые двойники».

6. Замечания и вопросы по диссертации

1. В диссертации следовало более четко аргументировать выбор предложенной системы стабилизации положения расплава на основе модели.

2. Из текста диссертации не до конца понятна причина выбора для исследования конструкции установки электромагнитной плавки во взвешенном состоянии с коническим индуктором с противовитком как объекта исследования, в то время как перспективным направлением отмечено использование установок, состоящей из нескольких индукторов.

3. Блок-схему алгоритма определения положения образца металла в индукторе следовало привести не только в автореферате, но и в диссертации.

4. Рассматривались ли другие способы сегментация расплавляемого металла на изображении и чем обоснован выбор метода оптического потока?

5. С чем связано различие структурных схем систем управления процессом плавки, приведенных в автореферате на стр. 15 рис.7 и в диссертации стр.36 рис. 2.1?

6. В п. 4.4 на стр. 106 показана возможность снижения затрат электроэнергии на 6.8%. Почему этот показатель не упомянут в практической значимости работы?

7. На сколько экспериментальный стенд соответствует реальным промышленным установкам по размерам, материалам и условиям эксплуатации. Каким образом обеспечивалось геометрическое и физическое подобие лабораторного стенда промышленным агрегатам?

Высказанные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

7. Заключение

Диссертация Пайора Владимира Алексеевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, защищаемые положения диссертации прошли апробацию на международных конференциях, по теме исследования опубликовано 8 научных трудов, из них в изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК) – 2, в международных реферативных базах данных и системах цитирования Scopus, Web of Science – 3, получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

Диссертация «Система автоматического управления левитационным плавлением металлов», представленная к защите на соискание степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного

