

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Лаврова Владислава Васильевича на диссертацию Масько Ольги Николаевны на тему «Система диагностики нарушений технологического процесса карботермического восстановления кремния в руднотермических печах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность исследования по созданию системы диагностики нарушений технологического процесса карботермического восстановления кремния в руднотермических печах (РТП) обусловлена несколькими ключевыми аспектами, связанными с современным состоянием автоматизации и контроля этого процесса.

Во-первых, в настоящее время уровень автоматизации процесса восстановительной плавки кварцевого сырья в руднотермических печах ограничен. Контролируются преимущественно электрические параметры печи, такие как ток, напряжение и мощность, в то время как многие важные технологические параметры измеряются вручную.

Во-вторых, важной проблемой является контроль качества входного кварцевого сырья. Текущие методы, такие как периодический отбор проб и их анализ рентгеноспектральным методом, не подходят для автоматизированного управления процессом из-за значительного времени задержки, вызванного отбором, подготовкой и транспортировкой проб. Это приводит к невозможности оперативного реагирования на изменения качества сырья.

Кроме того, многие параметры процесса, такие как температура в руднотермических печах, трудно контролировать непосредственно из-за экстремальных условий, таких как высокие температуры и агрессивная химическая среда. Это требует использования косвенных методов контроля, которые не всегда обеспечивают необходимую точность и полноту данных.

Использование газоанализаторов для контроля химического состава отходящих газов также сталкивается с трудностями из-за высокой температуры, турбулентности газового потока и запыленности среды, что снижает точность измерений и эффективность контроля процесса.

Исходя из вышесказанного, задача повышения эффективности и стабильности процесса карботермического восстановления кремния в руднотермических печах путём внедрения современных методов автоматизации и диагностики является актуальной. Результаты данного исследования направлены, в конечном итоге, на снижение длительности технологических простоев оборудования в процессе карботермического восстановления кремния в руднотермических печах, что имеет важное значение для развития металлургической промышленности и повышения качества выпускаемой продукции.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы О.Н. Масько заключается в следующих основных положениях:

ОТЗЫВ

ВХ. № 9- 361 от 11.09.24
АУ УС

– обоснование и способ применения системы технического зрения для оценки содержания Fe_2O_3 в кварцевом сырье, включая разработанное алгоритмическое и программное обеспечение для автоматизированной оперативной оценки качества кварцита. Это позволяет оперативно и точно оценивать качество сырья, что критически важно для стабильности технологического процесса карботермического восстановления кремния;

– функциональные зависимости температуры отходящих газов от кинетики образования микрокремнезема, что позволяет осуществлять непрерывную оценку пылевых выбросов в руднотермических печах и благодаря их использованию в разработанной системе диагностики своевременно выявлять отклонения для повышения эффективности производства;

– результаты трехмерного математического моделирования температурного поля пылегазовой смеси в газоотводящем тракте РТП, которые позволили определить устойчивые зоны потока отходящих газов для представительного размещения датчиков контрольно-измерительных приборов (КИП) с целью более точного контроля технологического процесса;

– набор продукционных правил для автоматизированной экспертной системы диагностики нарушений технологического процесса, которая позволяет выявлять отклонения в режиме работы печи на основе расширенного набора контролируемых параметров, включая содержание микрокремнезема в отходящих газах, материальный баланс плавки и качество кварцевого сырья. Эта система получила подтверждение своей эффективности на практике и защищена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ №2022666844 и №2022663214.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе, подтверждаются следующими факторами:

– применением современных методов статистического анализа. Автор использовала известные статистические методы обработки экспериментальных данных, такие как регрессионный и корреляционный анализ. В работе также применены программные пакеты Python и Origin 2021 для автоматической обработки статистических данных, что обеспечило высокую точность и надежность результатов;

– использованием современного сертифицированного программного обеспечения для моделирования и анализа данных. Для разработки трехмерной модели вычислительной гидродинамики автор применила программный пакет AnsysWorkbench 2020 R1 (модуль ANSYS Fluent), в который встроены сертифицированные математические модели вычислительной гидродинамики (CFD). Это позволило выполнить компьютерное моделирование и получить в результате исследования температурные и скоростные профили в газоотводящем тракте руднотермической печи;

– совпадением теоретических и экспериментальных результатов. Полученные теоретические выводы и экспериментальные данные лабораторных исследований температурной

устойчивости и химического состава кварцитов согласуются друг с другом, что дополнительно подтверждает достоверность полученных научных результатов;

– тестированием системы диагностики на промышленных данных. Разработанная система диагностики была протестирована на архивных данных о ходе технологического процесса выплавки металлургического кремния в руднотермических печах. Результаты показали высокую эффективность и точность работы системы, что свидетельствует о ее практической применимости и надежности;

– апробацией результатов на научных конференциях. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований были доложены и обсуждены на 4 всероссийских и международных научно-практических конференциях;

– публикацией результатов в рецензируемых научных изданиях. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 5-ти печатных работах, в том числе в 2-х статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (Перечень ВАК РФ), в 3-х статьях в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Также получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора состоит в проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; постановке целей, формулировке задач и выборе методологической стратегии исследования; выполнении лабораторных исследований; разработке технических решений, адаптированных к условиям действующего производства металлургического кремния; научном обобщении полученных результатов и подготовке публикаций.

Полученные на всех этапах выполнения диссертации результаты, публикации автора, положительные оценки на конференциях и выставках различного уровня подтверждают обоснованность выдвинутых научных положений, выводов и рекомендаций.

4. Научные результаты, их ценность

Ценность полученных научных результатов заключается в их применимости на практике. Разработанные методы и системы могут быть интегрированы в действующие автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) на металлургических предприятиях, что позволит повысить эффективность и стабильность производства.

Одним из ключевых достижений стала разработка алгоритма оперативной оценки качества кварцевого сырья, основанного на визиометрическом анализе изображений срезов кварцита. Этот метод позволяет с высокой точностью определять содержание примесей железа в сырье, что позволяет корректировать шихтовую формулу, не допуская нарушений технологического процесса, связанных с колебаниями качества кварцевого сырья.

Также важным научным результатом стало исследование взаимосвязи объемов пылевых выбросов и температуры пылегазовой смеси путем моделирования газодинамики. Это позволило разработать методику непрерывного контроля выбросов микрокремнезема.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, 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 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы определяется следующими аспектами:

– разработанная система диагностики нарушений технологического процесса карботермического восстановления кремния позволяет выявлять нарушения режима работы руднотермических печей на основе анализа расширенного набора технологических параметров. Внедрение этой системы в АСУ ТП снижает длительность технологических простоев на 30 %;

– разработанная методика визиометрического анализа изображений срезов кварцита позволяет проводить оперативную оценку качества сырья и способствует улучшению качества конечного продукта;

– полученные результаты моделирования температурного поля в газоотводящем тракте РТП и определение устойчивых зон потока отходящих газов позволяют оптимально размещать контрольно-измерительные приборы (КИП), что обеспечивает более точный контроль и управление процессом плавки;

– реализация предложенных в диссертации решений способствует уменьшению потерь микрокремнезема, улучшению материального баланса плавки и, соответственно, повышению общей эффективности производства металлургического кремния;

– результаты работы нашли практическое применение в деятельности АО «Союзцветметавтоматика им. Топчаева В.П.», что подтверждается Актом о внедрении (подписан генеральным директором Деминым А.В.). Это свидетельствует о высокой прикладной ценности разработок и их востребованности в промышленности;

– использование разработанной системы диагностики в производстве позволит своевременно выявлять и устранять потенциальные аварийные ситуации, что существенно повышает технологическую безопасность производственного процесса.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты и выводы, представленные в диссертации, обладают значительным прикладным потенциалом и могут быть рекомендованы для внедрения на различных металлургических предприятиях, занимающихся производством кремния и другими связанными

процессами. Внедрение разработанной системы особенно целесообразно на предприятиях по производству кремния, как ООО «РУСАЛ Кремний Урал», ЗАО «Кремний», где использование руднотермических печей требует высокой степени контроля и точной диагностики. Это позволит значительно снизить риски отказов оборудования и повысить эффективность производственных процессов.

Научно-исследовательские и проектные институты, занимающиеся разработкой и модернизацией технологий в металлургии, также могут извлечь пользу из результатов диссертации. Такие организации, как Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН и НИИ металлургии и материаловедения, могут использовать предложенную систему диагностики как основу для дальнейшего развития и адаптации к другим металлургическим процессам.

7. Замечания и вопросы по работе

1. На представленной структурной схеме автоматизированной системы диагностики нарушений (с. 90) пользователем обозначен Эксперт. Однако функции Эксперта в подобных системах заключаются в настройке системы: определении списка идентификационных параметров для определения нарушений хода плавки, значимости каждого параметра, численных значений весовых коэффициентов и наполнении базы правил. Кто является основным пользователем разработанной системы и каким образом он формирует действия по корректировке выявленных нарушений?

2. В работе не представлено описание структуры базы данных (БД) системы диагностики нарушений и не указана программная платформа для ее реализации. Какие данные содержатся в базе данных, какова ее структура? Как обеспечивается наполнение базы данных и ее сопровождение в процессе эксплуатации? Каким образом пользовательское приложение взаимодействует с БД?

3. В результате исследования возможности оценки содержания Fe_2O_3 в кварцевом сырье с помощью системы технического зрения предложено использовать алгоритм анализа изображений CNN (Convolutional Neural Network), основанный на глубокой нейронной сети. Требуется обоснование выбора именно этого алгоритма в сравнении с другими известными алгоритмами, например, SVM (Support Vector Machines), KNN (K-Nearest Neighbors), Decision Trees и Random Forests. Как проводилась оценка качества работы алгоритма для анализа визуальных данных, какие метрики для этого использовались?

4. На с. 55 диссертации написано «Чтобы решить проблему своевременного учета и корректировки параметров, характеризующих качество кварцевого сырья, была разработана математическая модель объекта управления (процесса выплавки кремния в РТП) с помощью ПО Phyton». Но, как известно, математическая модель служит основой алгоритмического и программного обеспечения, которое реализуется на каком-либо языке программирования. Каким образом автор с помощью языка программирования Phyton (правильное название – Python) разработал математическую модель объекта управления?

5. Пользовательский интерфейс системы диагностики нарушений плавки, представленный на рисунке 4.7 диссертации, не содержит численных показателей, которые поясняют рекомендации, сформированные экспертной системой. Как правило, экспертные системы выводят пользователю расширенные пояснения своих выводов в виде набора числовых значений или вероятностных диаграмм изменения ключевых показателей с возможностью их экспорта в отчетный файл. Предусмотрены ли подобные функции в разработанной системе?

6. Каким образом происходит процесс адаптации разработанных моделей к изменениям входных данных, таким как качество сырья или параметры работы печи? Насколько гибкой является модель в реальных условиях эксплуатации различных РТП?

7. В тексте диссертации встречаются редакционные замечания:

– С. 6 диссертации: первый пункт научной новизны «научно обосновано применением системы технического зрения и разработано алгоритмическое обеспечение для оценки содержания Fe_2O_3 » желательно было бы сформулировать по-другому;

– С. 1, 55, 92 диссертации: встречается неправильное название языка программирования, вместо «Python» надо использовать название «Python»;

– С. 7 диссертации: «Контроль качества кварцевого сырья с применением системы технического зрения на основе алгоритмов цветовой фильтрации позволяет оценивать содержания Fe_2O_3 в кварците», надо «содержание»;

– С. 11 диссертации: «... основу которых (98%) составляет *микркремнезема*», надо «микркремнезем»;

– С. 15 диссертации «Изменение формы рабочего *пространство*...», надо «пространства»;

– С. 47 диссертации: на рис. 2.4 не подписана ось OX;

– С. 92 диссертации: «Система технического зрения проводит анализ изображений срезов образцов кварцита и *определяет* с достоверностью 85-90% установить содержание железа в кварцевом сырье», лучше использовать слово «позволяет».

Высказанные замечания, в целом, не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

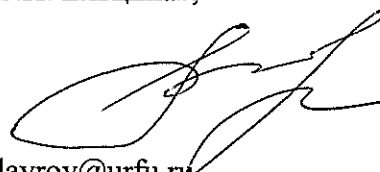
Исследовательская работа в полной мере отвечает требованиям по актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, отражению результатов в публикациях. Работа содержит все необходимые для кандидатской диссертации части и носит законченный характер. Она написана хорошим техническим языком. Оформление диссертации выполнено на достаточно высоком уровне. Текст работы структурирован логично и последовательно, рисунки и таблицы хорошо иллюстрируют изложенные материалы. Список литературы включает актуальные и значимые источники по теме исследования.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Система диагностики нарушений технологического процесса карботермического восстановления кремния в руднотермических печах», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор, **Масько Ольга Николаевна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент

профессор кафедры теплофизики и информатики в металлургии
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
доктор технических наук, доцент



Лавров Владислав Васильевич

04.09.2024

Тел.: +7 (343) 375-44-5, e-mail: v.v.lavrov@urfu.ru

Подпись Лаврова Владислава Васильевича заверяю:

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Официальный сайт в сети Интернет: <https://urfu.ru/ru/>

Контактный телефон: 8-800-100-50-44

Адрес электронной почты: <https://urfu.ru/ru/>