

УТВЕРЖДАЮ

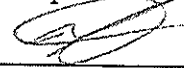
Ректор ФГБОУ ВО

«Иркутский национальный

исследовательский

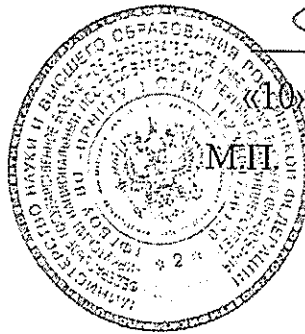
технический университет»

доктор технических наук, доцент



М.В. Корняков

«10» сентября 2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации 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. 2Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью улучшения методов контроля качества сырья и управления технологическими процессами в производстве металлургического кремния. Металлургический кремний является важным компонентом в различных отраслях, включая производство алюминиевых сплавов, силикатов и химических соединений, что предъявляет высокие требования к качеству конечного продукта.

Одной из ключевых проблем управления карботермическим восстановлением кремния в руднотермических печах (РТП) является ограниченность АСУ ТП преимущественно электрическими параметрами, такими как ток, напряжение и мощность. При этом значительное количество важных характеристик, таких как температура и химический состав расплава внутри печи, остаются вне контроля, что приводит к необходимости ручных

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-409 от 16.09.24
АУ ВС

измерений и оперативных решений на основе косвенных данных. Это, в свою очередь, увеличивает вероятность ошибок и аварийных ситуаций, что негативно сказывается на производительности и экономической эффективности предприятий.

Качество исходного сырья, в частности кварцита, играет важную роль в процессе восстановления кремния. В настоящее время контроль качества сырья осуществляется с помощью методов, которые обладают значительным запаздыванием и не могут быть интегрированы в автоматизированную систему управления процессом. Это создает дополнительные сложности при управлении технологическим процессом, так как оперативная корректировка параметров невозможна.

Кроме того, выбросы микрокремнезема и других вредных веществ в атмосферу остаются одной из существенных проблем, требующих пристального контроля. Из-за сложных условий в РТП, таких как высокая температура и агрессивная химическая среда, традиционные методы измерения часто оказываются недостаточно точными, что приводит к некорректной оценке состояния технологического процесса.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости разработки и внедрения более совершенных методов и систем контроля, которые бы позволили расширить спектр контролируемых параметров, повысить точность измерений и снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертации заключается в разработке и обосновании комплексного подхода к диагностике нарушений технологического процесса карботермического восстановления кремния в руднотермических печах, который сочетает в себе применение системы технического зрения, математического моделирования, а также расширенного учета материального баланса.

Можно выделить следующие решения, обладающие научной новизной:

- разработка и внедрение системы технического зрения для контроля качества кварцевого сырья. Диссертантом предложена методика оценки содержания Fe_2O_3 с помощью алгоритмов цветовой фильтрации изображений срезов кварцитов, что позволяет оперативно корректировать шихтовую формулу;

- с помощью созданной модели вычислительной гидродинамики (CFD) впервые были определены устойчивые зоны в газоотводящих трактах печи, наиболее подходящие для размещения контрольно-измерительных приборов. Это позволило повысить точность контроля температуры отходящих газов и содержания в них пылевых частиц (микрокремнезема), что является важным для обеспечения стабильности процесса;

- получена зависимость температуры отходящих газов от кинетики образования микрокремнезема, что предоставляет новую информацию о взаимосвязи этих параметров в процессе плавки и возможности для оперативной оценки выбросов микрокремнезема.

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

Теоретическое обоснование и математическое моделирование, использованные в диссертации, включают современные методы, такие как вычислительная гидродинамика (CFD), для исследования газодинамических процессов в руднотермических печах. Полученные результаты моделирования, такие как распределение температурных и скоростных полей, были верифицированы посредством оценки точности на основе кинетики образования микрокремнезема, что подтверждает их адекватность и применимость к решаемым задачам.

Разработанный автором алгоритм для оценки качества кварцевого сырья с использованием методов технического зрения также прошел практическое тестирование на образцах кварцита, отобранных с

действующего производства металлургического кремния. Результаты показали хорошее соответствие между данными разработанной системы технического зрения и результатами лабораторных анализов. Средняя погрешность оценок содержания Fe_2O_3 в кварците составила 11-13%, что является приемлемым для целей управления технологическим процессом.

Автором проведено экспериментальное исследование зависимости термостойкости кварцевого сырья от содержания примесей, что позволило определить критические параметры для эффективного контроля качества сырья.

Для повышения достоверности предложенной системы диагностики автором была произведена оценка работы системы на производственных данных. В процессе тестирования системы на производственных данных по выплавке кремния в руднотермических печах было доказано, что внедрение предложенных методик позволяет уменьшить технологические простои на 30%. Это подтверждено актами о внедрении и производственными данными.

Корректность и обоснованность выводов диссертации логически вытекают из поставленных задач и полученных результатов. Автор систематически подходит к каждому этапу исследования, начиная от анализа существующих методов и технологий, и заканчивая внедрением разработанных решений в реальное производство. Корректность сформулированных выводов и предложенных рекомендаций подтверждается сопоставлением результатов теоретических исследований и экспериментальных данных. Проведенные расчеты материального баланса, оценки химического состава сырья и анализ температурных профилей отходящих газов согласуются между собой и дают достоверные результаты, которые соответствуют реальным производственным условиям.

4. Научные результаты, их ценность

Научная значимость диссертации подтверждается ее вкладом в развитие теории и практики управления технологическими процессами в металлургии. Разработанные методики и алгоритмы могут быть

использованы как основа для дальнейших исследований в области автоматизации и управления технологическими процессами производства кремния и ферросплавов в руднотермических печах.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 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, 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

– разработан автоматизированный метод оперативного контроля качества кварцевого сырья с использованием визиометрической обработки изображений срезов кварцита;

– создана автоматизированная экспертная система диагностики, которая позволяет выявлять отклонения в работе печи, анализируя расширенный набор технологических параметров, таких как уровень микрокремнезема в отходящих газах, материальный баланс плавки и качество кварцевого сырья (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2022666844, №2022663214);

– полученные результаты были внедрены в АО «Союзцветметавтоматика им. Топчаева В.П.» для разработки системы автоматизированного контроля качества рудного сырья и его учета при настройке технологического процесса производства ферросплавов (акт о внедрении от 12.04.2023).

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Рекомендуется внедрение разработанных автоматизированных систем контроля качества кварцевого сырья и диагностики технологических

процессов в компании АО «Союзцветметавтоматика им. Топчаева В.П.», где уже был успешно проведен начальный этап интеграции этих решений.

Работа соответствует направлению стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ от 28 февраля 2024 г. N 145) по п.11.4 в части перехода к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении интеллектуальных производственных решений, роботизированных и высокопроизводительных вычислительных систем.

Продолжение и развитие исследований рекомендуется возложить на научные коллективы, специализирующиеся на автоматизации производственных процессов в металлургии, такие как Научно-исследовательский институт металлургии и материаловедения при Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС».

7. Замечания и вопросы по работе

7.1. Автор в разделе 1.2 «Анализ технологического процесса карботермического восстановления кремния как объекта управления» (стр.11-16) формулирует одну из основных задач исследования, как «Рациональный выбор и обоснование контролируемых и регулируемых параметров, позволяющих минимизировать производство побочных продуктов», а также рассматривает особенности и трудности технологии, описываемые в литературных источниках. Однако однозначного вывода о предпочтительных параметрах и каналах управления процессом не приводит

7.2. В разделе 2.1 «Исследование влияния примесей кварцевого сырья на технологический процесс карботермического восстановления кремния в РТП» (стр. 44) приведена методика эксперимента, в которой «Приточный воздух регулировали через отверстие в двери, а отходящие газы и летучие компоненты удаляли через вытяжное отверстие в задней стенке печи». Вызывает вопрос о корректности и качестве такого контроля?

В том же разделе, «Автоматизированный контроль за соблюдением выбранных режимов работы печи осуществляется с помощью контроллера В510 (5 программ с 4 сегментами в каждой)», при этом автор не поясняет, какие же режимы работы печи контролировались данным PLC?

7.3. В разделе 4.5.3 Расчет материального баланса (стр.92-94) приводится информация о разработке математической модели объекта управления (процесса выплавки кремния в РТП) с помощью ПО Python, которая позволяет автоматизировать расчет материального баланса, что, по мнению, автора «делает возможным предотвратить критические отклонения в процессе, своевременно корректируя параметры плавки для достижения оптимальных результатов». Однако, экспериментальной оценки декларируемого повышения качества автоматизированной диагностики процесса, к сожалению, автор не приводит.

7.4. Также вызывает вопрос и отсутствие оценки эффективности разработанного метода автоматической диагностики на базе экспертных знаний, оформленных в виде продукционных правил определения типа нарушения режима?

Вместе с тем указанные замечания, которые можно рассматривать и как пожелания в дальнейшей работе, не снижают общей положительной оценки, проведенных автором исследований в области повышения эффективности управления технологическим процессом производства металлургического кремния.

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 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.


Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации **Масько Ольги Николаевны** обсужден и утвержден на заседании кафедры автоматизации и управления ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», протокол №1 от 10.09.2024 года.

Председатель заседания,

заведующий кафедрой автоматизации и управления

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,

доктор технических наук, профессор



Елшин Виктор Владимирович

Секретарь заседания,

доцент кафедры автоматизации и управления

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследова-

тельский технический университет», кандидат

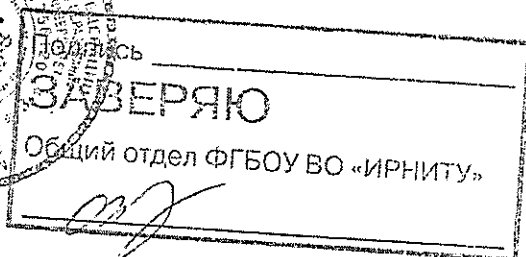
технических наук, доцент



Голодков Юрий Эдуардович

Подпись председателя заседания Елшина В.В. и секретаря заседания

Голодкова Ю.Э. заверяю:



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Иркутский национальный исследовательский
технический университет»

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Официальный сайт: <http://www.istu.edu>

E-mail: info@istu.edu

Тел.: 8 (3952) 405-100, 405-009