

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Лиу Цзыфэнг

на тему: «Моделирование и управление процессом восстановления закиси никеля в трубчатых вращающихся печах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия)

1. Актуальность темы диссертации

Широкое использование в металлургии вращающихся печей для тепловой обработки различных материалов обуславливает актуальность углубленного исследования и определения закономерностей процессов, протекающих при тепловой обработке, знание которых необходимо для создания современных систем управления печным оборудованием. Одним из процессов, в которых используются трубчатые вращающиеся печи, является технологическая стадия восстановления закиси никеля, находящейся в огарке, получаемом при окислении сульфидных медно-никелевых руд. Эта стадия, направленная на повышение степени металлизации огарка, приводит к существенному снижению расходов электроэнергии при электроплавке и повышению качества получаемого никеля. Одним из перспективных современных методов, позволяющих выявить основные закономерности процесса, является математическое моделирование с целью получения результатов, которые необходимы для разработки оптимальной системы управления, что, в свою очередь, обеспечивает повышение качества и стабилизацию состава частично восстановленной закиси никеля (ЧВЗН).

С учетом изложенного не вызывает сомнений правильность выбора темы работы и актуальность поставленных и решавшихся в ней задач.

2. Научная новизна и практическая ценность работы

На основании выполненных соискателем исследований получены следующие результаты.

1. Разработаны статическая и детальная детерминированная динамическая математическая модель трубчатой вращающейся печи, учитывающая механизмы тепло- и массообмена, движения материала по длине печи, кинетику химических реакций горения и превращения материалов. Разработанные модели базируются на экспериментальных результатах, данных о промышленных процессах и другой доступной информации данных по теме диссертации. Разработанные модели позволяют эффективно исследовать и оптимизировать режимы работы печи;

2. На основе обобщения передового отечественного и зарубежного опыта по созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами предложена структура системы и разработан новый алгоритм управления тепловым режимом вращающейся печи на основе статической и динамической моделей;

3. Предложены передаточные математические функции, учитывающие инерционность объекта по каналам температуры и материальных потоков, и разработана процедура определения характеристик передаточных функций.

Представленные в работе результаты моделирования находятся в удовлетворительном соответствии с результатами наблюдений за процессом в промышленных условиях, что подтверждает адекватность модели и свидетельствует о правомерности упрощающих допущений, сделанных при выводе уравнений модели.

Предлагаемый алгоритм управления, после согласования с применяемыми в промышленности системами управления, может дать положительный технический эффект в случае его использования при реконструкции систем управления вращающимися печами для восстановления огарков в производстве никеля. Разработанные принципы управления позволят достичь высокого качест-

ва продукта и снизить на 10 - 15% энергетические затраты на его производство на действующих и вновь проектируемых вращающихся печах.

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

В ходе работы автор использовал как сертифицированные отечественные и зарубежные методики, так и самостоятельно разработанные подходы. Для доказательства выдвинутых научных положений автором квалифицированно использован математический аппарат, проведены вычислительные эксперименты и надлежащим образом обработаны их результаты. Эффективность предложенных мер подтверждена непротиворечивостью авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по промышленным процессам.

Представленная на отзыв диссертационная работа имеет достаточный объем для полного изложения результатов выполненных исследований и проиллюстрирована табличным и графическим материалом.

По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 3 в журналах, входящих в перечень ВАК и 1 в базу данных Scopus.

Автореферат и публикации с достаточной полнотой отражают содержание диссертации.

4. Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность и сформулированы основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе изложены основы технологии процесс восстановления закиси никеля. Изложение достаточно полное и отражает современное состояние технологии процесса восстановления с анализом механизма химических реакций, протекающих в твердой фазе. Определены цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена исследованию процедуры технологического и теплофизического расчета процессов в трубчатой печи. Приведены основные

алгоритмы и формулы, используемые для расчета процессов восстановления закиси никеля при использовании различных восстановителей.

Третья глава содержит результаты анализа процесса с позиции «интернета вещей». Это новый подход, интенсивно развиваемый в последнее время, в котором математическое моделирование играет важную роль при формировании общей базы знаний о процессе и создании так называемого «умного производства», имеющего интеллектуальную часть, обеспечивающую самоуправление процесса и его адаптацию к изменяющимся внешним условиям.

Четвертая глава содержит результаты разработки статической и динамической моделей, разработки алгоритмов и программ решения полученных уравнений и результаты выбора оптимальных условий работы и алгоритмов регулирования, обеспечивающих стабильную работу процесса.

Пятая глава содержит результаты исследования статических и динамических характеристик процесса по его математическим моделям. Представлены основные результаты по выбору эффективного алгоритма регулирования, обеспечивающего стабильную работу процесса в оптимальных условиях. Автором показано, что наиболее эффективным является Фаззи-регулятор, который обеспечивает минимальную величину перерегулирования и минимальное время регулирования. Эти характеристики позволяют повысить качество конечного продукта и свести к минимуму отклонения качества от заданных значений с выбранной системой управления процессом.

В шестой главе приведено описание использованных в работе программных пакетов и особенности их применения для решения поставленных задач.

В седьмой главе приведены результаты анализа организации производства и экономические оценки для определения себестоимости продукции при использовании сформулированных рекомендаций по системе управления

В заключении сформулированы основные выводы диссертации.

В приложениях представлены дополнительные результаты моделирования статического и динамического режимов работы трубчатой печи при проведении в ней процесса восстановления закиси никеля.

5. Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в формулировке целей, постановке задач и разработке методики исследований; в проведении анализа научно-технической литературы, разработке динамической модели процесса, выборе технических решений, адаптированных к условиям металлургического комбината в КНР; подготовке публикаций.

6. Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. Математическая модель процесса (система уравнений (4.2)) в том виде, как она представлена в диссертации, является неполной, так как не представлены уравнения материального баланса, определяющие материальные потоки, или источники, откуда взяты соответствующие сведения по материальным потокам, а также не определены начальные условия, необходимые для решения системы дифференциальных уравнений.

2. Представлена сложная стехиометрическая схема реакций, протекающих в печи, но не приведены кинетические параметры реакций и не указан источник этих данных.

3. В главе 5 допущена неточность с определением передаточной функции. На стр. 71 рекомендуется применять передаточную функцию вида (1.5), хотя в первой главе (1.5) представляет обобщенную реакцию восстановления никеля. На стр. 72 указано, что вид передаточной функции определяется формулой (5.2), которая на самом деле описывает коэффициент усиления, в то время как сама функция описывается формулой (5.3).

В диссертационной работе и автореферате есть также ряд других неточностей, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы.

6. Заключение

Диссертационная работа Лиу Цзыфэнг является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором ис-

следований решена актуальная научно-производственная задача – разработан алгоритм оптимального управления процессом восстановления закиси никеля в трубчатой вращающейся печи.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.2 «Положения о присуждении ученых степеней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 №839адм, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор работы, **Лиу Цзыфэнг**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация технологических процессов и производств (металлургия).

Коссой Аркадий Анцельевич, кандидат технических наук по специальности 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ;
ведущий научный сотрудник лаборатории "математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов" федерального государственного унитарного предприятия «Российский научный центр «Прикладная химия», www.giph.su

193232, Санкт-Петербург, ул. Крыленко, 26А

Тел. 8 (812) 647-92-52, e-mail: kossoy@giph.su

/А. А. Коссой/

Подпись Коссого А. А УДОСТОВЕРЯЮ
25 августа 2020 г.

Ученый секретарь

ФГУП «РНЦ «Прикладная химия»

В.И. Мануйлова