

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО



Иркутский национальный
исследовательский технический
университет»

доктор технических наук, доцент

М.В. Корняков

« 10 » июня 2026 г.

М.П.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию *Моргунова Владимира Викторовича* на тему: «Система управления процессом спекания шихты в трубчатых вращающихся печах на основе прогнозной модели и экспертной базы правил», 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 темы диссертации обусловлена необходимостью повышения эффективности управления процессом спекания нефелинового концентрата с известняком в трубчатых вращающихся печах. Данный процесс является наиболее затратным этапом производства глинозема. С точки зрения автоматизации трубчатая вращающаяся печь является сложным объектом управления с распределенными параметрами ввиду наличия высокой инерционности, многосвязности технологических параметров, а также наличия неконтролируемых возмущающих воздействий.

В основе существующих систем управления трубчатыми вращающимися печами лежат локальные системы автоматического регулирования, требующие постоянных корректировок со стороны оператора и, как следствие, во многом зависящие от его профессионализма. Кроме того, управляющее воздействие для стабилизации температуры одной из зон печи может быть возмущением для температуры других зон печи. В результате использование данных систем приводит к нестабильности температурного профиля печи, что, в свою очередь, снижает степень извлечения глинозема из спека, а также приводит к увеличению скорости износа футеровки, расхода топлива и избыточному формированию обмазки и колец.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-172 от 15.06.26
АУ УС

Одним из перспективных способов решения данной задачи является использование системы усовершенствованного управления процессом спекания. Данный подход предполагает функционирование системы в режиме советчика и реализацию в виде программного обеспечения на третьем уровне системы управления. Предлагаемая в работе система управления включает комплексную прогнозную модель объекта управления и экспертную базу правил. Экспертная база правил на основе нечеткой логики позволяет идентифицировать состояние объекта, а также выбрать управляющее воздействие и направление его изменения; значение изменения управляющего параметра определяется на основе расчета комплексной прогнозной модели.

Применение данного подхода позволит уменьшить влияние человеческого фактора в процессе управления, так как рекомендации по изменению управляющего воздействия строятся не на субъективном опыте оператора, а на основе расчета прогнозной модели. А также выбор управляющего воздействия с помощью базы правил позволяет снизить возмущения, вносимые таким образом в другие зоны.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертации заключается в разработке математической модели процесса спекания нефелинового концентрата с известняком, учитывающей влияние формы рабочего пространства из-за образования колец и обмазки на параметры осевого движения материала, а также в разработке структуры системы управления, использующей данную модель для расчета управляющих воздействий.

Можно выделить следующие решения, обладающие научной новизной:

- определена зависимость параметров осевого движения сыпучего материала в трубчатой вращающейся печи от изменяющейся внутренней формы рабочего пространства по длине агрегата;
- разработана математическая модель движения сыпучего материала в трубчатой вращающейся печи;
- предложены структура и алгоритм расчета комплексной прогнозной модели процесса спекания нефелинового концентрата с известняком в трубчатой вращающейся печи;
- предложена структура системы управления процессом спекания нефелинового концентрата с известняком в трубчатых вращающихся печах на основе комплексной прогнозной модели печи и экспертной базы правил.

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

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается последовательной логикой исследования, включающей анализ существующих систем управления трубчатыми вращающимися печами, разработку математических моделей, проведение лабораторных экспериментов, программную реализацию расчетных алгоритмов и оценку эффективности предложенной системы управления.

Теоретическая часть работы основана на рассмотрении трубчатой вращающейся печи как сложного объекта управления с распределенными параметрами, высокой инерционностью, многосвязностью технологических величин и наличием неконтролируемых возмущающих воздействий. Автором обоснована необходимость использования комплексной прогнозной модели, учитывающей осевое движение материала, пылеунос и пылевозврат, горение факела, теплообмен в различных технологических зонах и химические превращения при спекании нефелинового концентрата с известняком.

Достоверность результатов, связанных с моделированием осевого движения сыпучего материала, подтверждается проведением экспериментальных исследований на разработанной физической модели вращающегося агрегата. Использование физической модели позволило исследовать влияние изменяющейся внутренней формы рабочего пространства на параметры движения материала, включая высоту слоя и среднее время пребывания. Полученные результаты использованы для построения и верификации математической модели.

Следует отметить, что автором использованы следующие методы исследования: анализ научно-технической литературы и патентных материалов, лабораторные испытания, методы математического и численного моделирования, программная реализация расчетных алгоритмов, а также методы нечеткой логики для формирования экспертной базы правил. Применение такого набора методов соответствует характеру поставленных задач и позволяет обеспечить как теоретическую, так и практическую обоснованность полученных результатов.

Предложенная экспертная база правил также имеет достаточное обоснование, поскольку она сформирована с учетом знаний специалистов, анализа литературных источников и результатов математического моделирования. Ее использование в составе системы управления позволяет формализовать опыт оператора и обеспечить выбор управляющих воздействий на основе текущего состояния объекта. В сочетании с прогнозной моделью это повышает обоснованность принимаемых решений и снижает зависимость процесса управления от субъективного фактора.

Корректность выводов диссертации подтверждается тем, что они логически вытекают из поставленных задач, результатов экспериментальных исследований и расчетов. Автором показано, что учет изменяющейся формы рабочего пространства печи позволяет повысить точность определения параметров осевого движения материала.

Практическая достоверность полученных результатов подтверждается программной реализацией разработанных моделей и алгоритмов, а также использованием результатов исследования в деятельности профильной организации. Это свидетельствует о применимости предложенных решений не только в рамках теоретического исследования, но и при решении прикладных задач моделирования и управления процессом спекания в трубчатых вращающихся печах.

4. Научные результаты, их ценность

Научная значимость диссертационной работы определяется ее вкладом в развитие методов математического моделирования и управления технологическими процессами в трубчатых вращающихся печах. Полученные автором результаты направлены на решение актуальной задачи повышения эффективности процесса спекания нефелинового концентрата с известняком за счет стабилизации температурного профиля печи.

Ценность работы заключается в том, что автором разработана математическая модель осевого движения сыпучего материала во вращающемся цилиндрическом агрегате, учитывающая изменение внутренней формы рабочего пространства вследствие образования колец и обмазки. Данный результат имеет самостоятельное научное значение, поскольку позволяет расширить существующие представления о влиянии геометрии рабочего пространства печи на высоту слоя материала и среднее время его пребывания в агрегате.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 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 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus; получено 2 патента на изобретение и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая и практическая значимость результатов данной диссертации обусловлена следующими положениями:

- разработано устройство для автоматического определения динамического угла откоса сыпучего материала во вращающемся цилиндре (патент на изобретение № 2849726 и патент на изобретение № 2849725);

- разработана и реализована физическая модель вращающегося агрегата, позволяющая определять параметры осевого движения сыпучего материала в объекте с изменяющейся внутренней формой рабочего пространства;

- разработана комплексная прогнозная модель процесса спекания нефелинового концентрата с известняком в ТВП в качестве программного модуля системы управления, обеспечивающая расчет осевого движения материала, уноса и возврата пыли, процессов теплообмена во всех технологических зонах печи, горения факела, химических превращений и учитывающая при расчете наличие цепной завесы и форму внутреннего рабочего пространства агрегата (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662839 и № 2024662736)

- полученные результаты были внедрены в компании АО «Моделирование и цифровые двойники» для моделирования движения материала в трубчатых вращающихся печах, а также для оптимизации параметров процесса спекания (акт о внедрении от 01.04.2026).

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Рекомендуется внедрение разработанной модели движения сыпучего материала, учитывающей изменение формы рабочего пространства, а также предложенной структуры системы управления в деятельность компании АО «Моделирование и цифровые двойники», где уже был успешно проведен начальный этап интеграции этих решений.

Продолжение и развитие исследований целесообразно осуществлять на базе научных коллективов и профильных организаций, специализирующихся на автоматизации технологических процессов, математическом моделировании трубчатых вращающихся печей, разработке систем усовершенствованного управления и цифровых двойников металлургических агрегатов, таких как АО «РУСАЛ». Также разработанные модели могут быть использованы в научных подразделениях университетов, занимающихся вопросами металлургии, автоматизации и моделирования технологических процессов, в том числе в рамках НИР на базе Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

7. Замечания и вопросы по работе

7.1. В работе (гл.2) рассчитанные значения погрешностей высоты слоя по модели Ходорова и модифицированной приводятся без предоставления массивов данных и экспериментальной оценки мат. ожидания.

7.2. В главе 3 автором разработана комплексная прогнозная модель, выходными параметрами которой являются профиль высоты слоя материала, скорость движения материала, теплообмен, и ряд других показателей. При этом полученные расчётные данные, к сожалению, не подкреплены никакими опытными результатами в промышленных условиях.

7.3. Чем руководствовались при выделении 34 участков при проведении комплексного моделирования вращающейся печи. Было ли проведено моделирование с другим количеством участков и как это влияет на точность прогноза?

7.4. Чем обусловлен выбор типа распределения в таблице 3.5?

7.5. Какой алгоритм «нечеткого вывода» применяется в работе и чем обусловлен этот выбор? (гл.4)

7.6. Моделированию процесса уделено значительно больше внимания, чем экспертной составляющей системы управления

8. Заключение по диссертации

Несмотря на имеющиеся замечания по работе, диссертация «Система управления процессом спекания шихты в трубчатых вращающихся печах на основе прогнозных модели и экспертной базы правил», 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 Моргунов Владимир Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Моргунова Владимира Викторовича обсужден и утвержден на заседании кафедры автоматизации и управления, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», протокол № 18 от 09.06.2026 года.

Председатель заседания
Заведующий кафедрой автоматизации и управления
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»
Д.т.н., профессор

Ёлшин Виктор Владимирович
(полностью)

Секретарь заседания
Доцент кафедры автоматизации и управления
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»
К.т.н., доцент

Лазарева Ольга Викторовна
(полностью)

М.П.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»
Почтовый адрес: 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.istu.edu/>
эл. почта: info@istu.edu телефон: +7 (3952) 405-100

