

ОТЗЫВ

научного руководителя 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

Моргунов Владимир Викторович в 2023 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» с присуждением квалификации магистр по специальности 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В 2023 году поступил в очную аспирантуру на кафедру автоматизации технологических процессов и производств по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

За период обучения в аспирантуре Моргунов Владимир Викторович своевременно сдал кандидатские экзамены на оценку «отлично» и проявил себя квалифицированным специалистом, способным самостоятельно планировать и проводить экспериментальные исследования. Принимал активное участие в международных и всероссийских научно-практических конференциях: XXXI Международный научный симпозиум «Неделя горняка» (февраль 2023 года, Москва), XII форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства (октябрь 2023 года, Минск), Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (апрель 2023 года, Санкт-Петербург), XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2023 года, Санкт-Петербург), XX Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (декабрь 2024 года, Санкт-Петербург), научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (декабрь 2024 года, Санкт-Петербург), XCIV Международная научная конференция «Технические и Естественные науки» (декабрь, 2025 года).

В диссертации Моргунова В.В. рассматривается вопрос повышения степени извлечения глинозема из спека за счет стабилизации температурного профиля в трубчатой вращающейся печи (ТВП) для спекания нефелинового концентрата с известняком. Стабилизация температурного профиля тесно коррелирует со снижением расхода топлива, снижением времени простоя агрегата из-за более медленного износа футеровочных материалов и более медленного формирования избыточного количества обмазки и колец в агрегате, а значит изменения формы рабочего пространства (ФРП). Стабилизация работы ТВП достигается за счет модернизации существующей АСУ ТП (автоматизированной

системы управления технологическим процессом) с переработкой архитектуры системы и внедрения комплексной прогнозной модели печи и экспертной базы правил для управления процессом спекания нефелинового концентрата в ТВП.

В процессе обучения в аспирантуре Моргуновым В.В. в установленный срок были выполнены теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертационной работы в достаточном объеме, что позволило разработать адекватные математические модели с учетом зонального подхода к математическому описанию ТВП, которые легли в основу комплексной прогнозной модели печи. Моргуновым В.В. проделана большая работа по разработке физической модели агрегата с применением трехмерного САД-проектирования и изготовлению элементов модели методом аддитивного производства (3D-печати), что позволило определить параметры осевого движения сыпучего материала в печи (высоту слоя материала, среднее время пребывания материала в агрегате) с учетом различных форм внутреннего рабочего пространства в печи.

Основное содержание диссертации полностью соответствует защищаемым положениям. Все этапы исследований выполнены в соответствии с утвержденным планом.

Результаты диссертационной работы 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), и в 2 статьях — в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получено 2 патента на изобретение и 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Диссертация посвящена актуальной задаче модернизации классической структуры АСУ ТП с переходом на систему управления технологическим процессом, где одними из основных элементов СУ являются программные модули на третьем уровне АСУ ТП: адекватная комплексная прогнозная модель исследуемого агрегата и экспертная база правил при управлении процессом спекания шихты в ТВП.

Алюминий является стратегически важным металлом, потребление которого растет с каждым годом. Российская промышленность потребляет около четверти выпускаемого в стране первичного алюминия. В РФ единственным производителем алюминия является ОК «РУСАЛ». Сырьем для производства алюминия является глинозём. Основная доля мирового глинозёма производится из бокситов по методу Байера. Однако на протяжении всей истории развития алюминиевой промышленности СССР и РФ был актуальным вопрос применения высококремнистого сырья ввиду особенностей минерально-сырьевой базы страны, характеризующейся ограниченными запасами бокситового сырья и большими балансовыми запасами нефелиновых руд. Одним из основных процессов при переработке нефелина является процесс спекания в ТВП мокрого типа.

ТВП как объект управления (ОУ) характеризуется наличием взаимных связей между технологическими переменными, инерционностью каналов управления, изменением

динамических характеристик аппарата в ходе эксплуатации и влиянием неизмеряемых возмущений на режим процесса. В дополнение к перечисленным особенностям ОУ сложность управления процессом подкрепляется параметрической неопределенностью и сложностью протекающих процессов, высокими температурами и большими затратами на топливо при управлении ТВП. Как результат, существующие СУ ТВП преимущественно представлены локальными системами автоматического регулирования (САР) с постоянной ручной корректировкой оператором.

Существующие экспериментально-аналитические модели, в том числе применяемые на исследуемых предприятиях, используются для планирования объемов производства и оптимизации технологических процессов в глобальных решениях, но не в точечных регулировках отдельных узлов производства или старшими мастерами по технологии. Поэтому задача создания адекватных комплексных экспериментально-статистических моделей в связке с алгоритмами управления для применения в СУ в режиме реального времени является актуальной.

Все результаты теоретических и экспериментальных исследований были получены Моргуновым В.В. лично, их достоверность подтверждается использованием физического моделирования в совокупности с алгоритмами системы технического зрения, имитационного моделирования и верификацией итогов моделирования на реальных производственных данных с исследуемого предприятия.

Научная новизна работы заключается в установлении зависимости среднего времени пребывания и высоты слоя сыпучего материала в трубчатой вращающейся печи от изменяющейся внутренней формы рабочего пространства по длине агрегата, а также разработке математической модели движения сыпучего материала в трубчатой вращающейся печи, как составной часть комплексной прогнозной модели печи. В работе также предложены структура и алгоритм расчета комплексной прогнозной модели процесса спекания нефелинового концентрата в трубчатой вращающейся печи и структура системы управления процессом спекания нефелинового концентрата с известняком в трубчатых вращающихся печах на основе комплексной прогнозной модели ТВП и экспертной базы правил.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке устройства для автоматического определения динамического угла откоса сыпучего материала во вращающемся цилиндре; реализации физической модели вращающегося агрегата, позволяющей определять параметры осевого движения сыпучего материала в объекте с изменяющейся внутренней ФРП; разработке комплексной прогнозной модели процесса спекания нефелинового концентрата с известняком в ТВП в качестве программного модуля системы управления, обеспечивающей 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.

