

АННОТАЦИЯ
диссертационной работы докторанта PhD
специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление»
Токтасыновой Нигины Ришатовной
на тему «Моделирование и исследование системы управления
процессом агломерации фосфоритных руд»

Актуальность работы. ТОО «Казфосфат» представляет фосфорную промышленность Республики Казахстан, являясь лидирующей компанией по производству фосфорсодержащей продукции на территории стран СНГ. Продукция компании поставляется на рынки Восточной и Западной Европы, стран СНГ, Китая, а также на внутренний рынок. Начальным этапом для производства желтого фосфора, являющегося одним из важных продуктов предприятия, является процесс агломерации.

Агломерация является нелинейным процессом из-за чего управление качеством конечного продукта в режиме реального времени представляет собой сложную задачу. На практике управление процессом происходит с запаздыванием: оператор изменяет параметры процесса уже после получения готового продукта, что приводит к появлению возврата – агломерата, который необходимо вернуть на начальную стадию для повторной обработки. Это обстоятельство приводит к появлению большого количества возврата, который подвергается повторной обработке. И хотя отходы в данном случае минимальны, возврат приводит к внесению возмущений в процесс и необходимости дополнительных затрат на спекание. В этой связи для улучшения качества продукта необходимо проводить исследования процесса, затраты на которые уменьшаются за счет создания математической модели объекта. Также управление процессом до получения агломерата является актуальной задачей, которую можно разрешить за счет прогнозирования качества продукта на стадии спекания до достижения конца агломашины, что позволит принимать решение об управлении заранее.

Цель работы заключается в моделировании агломерационного процесса фосфоритовых руд и разработки структуры управления. В связи с этим необходимо определить направление моделирования, структуру модели, описать разработанные математические модели физических явлений, проверить на адекватность и точность. На основе полученных исходных данных необходимо построить динамическую прогнозную модель, которая позволит в режиме реального времени прогнозировать качество конечного продукта. Для построения динамической прогнозной модели необходимо провести анализ имеющихся моделей, определить ее основные параметры, построить оптимальную с точки зрения используемых данных модель, оценить точность и предложить структуру системы управления на основе прогнозной модели.

Основная идея работы. Основываясь на теории теплообмена в пористых материалах разработать математическую модель на основе физико-химических превращений, происходящих при спекании для

проведения исследований процесса агломерации и получения кривых температуры спекания для разработки системы прогнозирования. Разработать оптимальную динамическую модель прогноза точки спекания агломерата на основе малого объема исходной выборки и нескольких переменных, и предложить структуру управления на основе прогноза.

Задачи исследования. В ходе выполнения диссертационной работы докторантом ставились следующие задачи:

- выполнить анализ математических моделей агломерационного процесса: основные направления, методы моделирования, используемые физико-химические процессы и задачи моделирования. Определить наиболее важные черты математических моделей;

- разработать математическую модель процесса агломерации и проверить ее адекватность: описать основные физико-химические процессы, среду моделирования, представить результаты исследования;

- провести анализ прогнозных моделей точки спекания: определить основные алгоритмы, используемые для прогноза, выявить достоинства и недостатки, выбрать оптимальный алгоритм для построения прогноза;

- разработать динамическую математическую модель прогноза точки спекания: проверить на адекватность и точность существующие модели, улучшить точность моделей через выбор оптимального размера исходной выборки для обучения, а также использования алгоритмов нахождения оптимума;

- разработать структуру системы управления на основе прогнозной модели и представить результаты.

Объект исследования. Объектом исследования является процесс агломерации фосфоритовых руд.

Методы исследования. Поставленные задачи решались методами проведения теоретических и практических исследований. В ходе исследования поставленных задач были использованы законы теплопередачи в твердых и газообразных средах, теплообмена в пористом материале, законы движения газа, уравнения горения топлива, методы корреляций, различные алгоритмы теории серых систем, алгоритмы оптимизации «роя частиц», а также теория и основные принципы работы процесса агломерации.

Научная новизна работы. Научная новизна исследования заключается в следующем:

- разработана модель агломерации фосфоритовых руд на основе физики теплообмена в пористых материалах вместо классического теплообмена в твердых и газообразных средах;

- разработана новая оптимальная прогнозная серая модель на основе непрерывной интегральной серой модели и алгоритма оптимизации «роя частиц»;

- на основе разработанной оптимальной прогнозной серой модели предложен алгоритм получения прогноза точки спекания агломерата;

– предложена структура управления процессом агломерации, включающая в себя разработанную динамическую модель прогноза.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1) разработанная математическая модель в среде COMSOL Multiphysics с использованием физических законов теплообмена в пористых средах, позволяющая проводить исследования процесса агломерации при изменении температуры внутри шихты, изменении давления, содержания топлива, воды и других параметров процесса, а также проводить параметрический анализ и оптимизацию процесса с учетом реальных условий и режимов работы;

2) разработанный пошаговый алгоритм оптимальной серой прогнозной модели OGMC(1,n), на основе непрерывной интегральной серой модели свертки GMC(1,n) и метода оптимизации «роя частиц», включающий в себя определение влияющих параметров, объема исходной выборки и построения самой модели;

3) разработанная динамическая серая прогнозная модель точки спекания фосфоритовых руд, с использованием одного влияющего параметра – скорости газа.

4) структура управления на основе динамической прогнозной модели.

Практическая значимость результатов проведенных исследований.

Практическая значимость разработанной математической модели на основе физико-химических превращений заключается в следующем:

– в исследовании процесса агломерации: изменение состава, параметрического анализа и решения задач оптимизации, выполнения математических экспериментов для улучшения конечного продукта;

– математическую модель возможно использовать в качестве обучающей платформы (тренажера) процессов агломерации и использования физических законов теплообмена в пористых материалах.

Практическая значимость разработанной прогнозной модели на основе теории серых систем заключается в следующем:

– прогноз значения точки спекания агломерата и синтез управляющего воздействия на основе прогноза;

– алгоритм построения математической модели прогноза возможно использовать для любого процесса, имеющего характер «серого экспоненциального закона».

Конкретное личное участие автора в получении научных результатов заключается в:

– постановке задач исследований и методов их реализации;

– разработке и построении математической модели, описывающей динамику процесса через физические процессы теплообмена в пористых материалах;

– разработке и построении оптимальной динамической прогнозной модели на основе теории серых систем;

– разработке структуры системы управления на основе динамической модели прогноза.

Апробация работы. Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на Международных конференциях: «Математические методы и информационные технологии макроэкономического анализа и экономической политики», проходившем в 2017 г. в г.Алматы, Казахстан; «The 16th International Scientific Conference Information Technologies and Management», проходившем в 2018 г. в Риге, Латвия; «Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time», проходившем в 2019 г. в г.Саппоро, Япония; «International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)», проходившем в 2019 г. в г.Гренобль, Франция.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 9 работ. Из них – 4 тезисов докладов на международных конференциях, одна из которых является крупнейшей в мире профессиональной технической организацией по развитию технологий IEEE, 3 работы в журналах перечня ВАК, 2 статьи опубликованы в зарубежном издании, входящем в JCR (journal citation reports), одна из которых входит в международную базу цитируемости Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и приложений, библиографического списка из 92 наименований и содержит 123 страницу, 55 рисунков и 10 таблиц.

В первом разделе рассмотрены особенности технологического процесса агломерации как объекта управления и определено направление для моделирования агломерационного процесса. В разделе проведен обзор различных моделей агломерации, выделены их характерные черты, преимущества и недостатки. На основе сравнительного анализа моделей определен дальнейший тип модели агломерационного процесса, основные параметры и переменные процесса, допущения и ограничения.

Во втором разделе представлен объект моделирования, даны основные уравнения, описываемые процесс спекания агломерата, определены свойства и параметры модели. Описываются физические свойства процессов, которые происходят для получения агломерата от исходной шихты. Также создана непосредственно модель процесса и представлены результаты моделирования.

Третий раздел посвящен оценке современного состояния прогнозных моделей и их применения, проанализированы имеющиеся модели и методы их построения. На основе проведенного анализа в качестве модели для спекания выбрана теория серых систем.

Четвертый раздел посвящен построению математической модели прогноза точки спекания, начиная от определения основных переменных прогнозной модели и заканчивая построением оптимальной серой модели. В подразделах представлены различные модели серых систем, а также их использование для процесса агломерации фосфоритовых руд. В результате построена математическая модель прогноза точки спекания агломерата на основе теории серых систем, позволяющая на основе малой выборки данных получать результаты высокой точности.

Пятый раздел посвящен описанию структуры системы управления на основе динамической модели прогноза, что позволит изменять переменные

процесса в режиме реального времени с целью достижения точки спекания агломерата.

В заключении диссертации по результатам представленных исследований сформулированы основные выводы работы.

В приложении приведены сведения об исходных данных с агломерационного цеха, представлены алгоритмы для построения прогнозных моделей и использования результатов работы для практических целей.