

процесса.

Диссертационная работа Туз А.А. посвящена исследованию процесса измельчения в шаровой мельнице БАМР после стадии железорудного производства, в цикле подготовки питания флотации АО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат», с целью разработки адекватных кинетической и математической моделей процесса и синтеза на основе данных моделей системы автоматического управления технологическим процессом измельчения, которая учитывают изменение минералогического и фракционного состава исходного сырья. Для повышения производительности процесса измельчения и классификации разработана система автоматического управления на основе прогнозирующих нечетко-определенных импульсных моделей оценки состояния системы. Целью управления технологическим процессом является коррекция управляющих воздействий для получения продукта измельчения заданной крупности и плотности.

Для этого в диссертационной работе Туз А.А. производились разработка система оценки параметров технологического процесса измельчения, учитывающая минеральный состав сырья; разработка математической модели технологического процесса измельчения и классификации с применением нейро-нечетких сетевых моделей; проверка разработанной модели на адекватность; разработка функциональной структуры и алгоритма работы системы управления технологическим процессом на основе индекса оценки качества продукта.

Проведенные исследования вносят весомый вклад в развитие технологии управления технологическими процессами измельчения.

Краткий анализ содержания работы

диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 208 страницах машинописного текста, содержит 28 таблиц, 83 рисунка, 1 приложение. Список литературы включает 185 наименований.

Введение работы содержит в себе постановку цели и задач диссертационного исследования, раскрывает актуальность, значимость и новизну работы. Также здесь сформулированы основные положения, выносимые на защиту диссертации.

В Главе 1

Автором в процессе исследования проанализированы литературные источники по теме диссертационной работы, рассмотрены проблемы управления технологическими процессами на горно-обогатительных предприятиях. Рассмотрены технологические особенности управления процессом мокрого измельчения, проанализирована динамика процесса измельчения, проходящая в шаровой барабанной мельнице. Рассмотрены основные способы измельчения и разрушения твердого минерала до необходимых размеров частиц, показаны и проанализированы существующие циклы измельчения, применяемые в промышленном производстве, а также установлены зависимости эффективности процесса мокрого измельчения от ряда конструктивных и технологических параметров.

Глава завершается логической постановкой задач исследования.

Глава 2

в диссертационной работе Туз А.А. посвящена разработке и исследованию математических моделей, используемых в задачах оценки состояний

технологического процесса измельчения.

Для исследуемого объекта, характеризующегося наличием неопределенностей, связанных с отсутствием или неполнотой исходной информации, анализ существующих моделей оценки состояний показал, что в условиях недостатка знаний о протекании технологического процесса измельчения необходимо использовать дискретные нечетко-определенные модели состояния. В этом случае существует возможность построить сравнительно точные модели, учитывая, что теоретические выкладки отсутствуют, либо громоздки, или сложны.

В процессе работы рассматривалась модель кинетики измельчения. Она представлена в виде ячеечной модели, состоящей из каскада трех смесителей, приведены уравнения материального баланса, соответствующие данной модели.

Процесс уменьшения крупности сырья в процессе измельчения описан как переход материала из более крупного в более мелкие классы крупности. Для этого использованы коэффициенты отбора и разрушения. При этом значения коэффициентов разрушения b_{ij} и отбора s_i, s_j зависят от минералогического состава исходного сырья и шаровой загрузки мельницы и их было предложено аппроксимировать с применением нейро-нечетких сетей.

Глава 3

посвящена решению задачи моделирования процесса измельчения, для прогнозирования функции разрушения b_{ij} , зависящей от физико-механических свойств рудного тела и его состава, и коэффициентов S_i, S_j , определяющие функцию отбора, зависящие от свойств рудного тела и от состояния шаровой загрузки. В работе для определения функциональных зависимостей для функций разрушения и отбора предложено использовать нейро-нечеткие сети архитектуры adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) с применением аппарата нечеткой логики. При этом подстраивание функций принадлежности осуществляется с применением нейросетей. На вход нейро-нечеткой сети для прогнозирования функции разрушения подается минералогический состав, выходом сети будет являться коэффициент разрушения b_{ij} .

В условиях того, что минералогический состав исходного сырья постоянно меняется, будут меняться коэффициенты отбора и разрушения. Поэтому для прогноза функции отбора на вход нейро-нечеткой сети предложено подавать тип руды в соответствии с её обогатимостью, при этом вторым параметром будет являться шаровая загрузка мельницы $\phi_{ш}$, %.

За процессом измельчения следует процесс классификации. В модели процесса классификации массы частиц i -ой фракции крупности входного потока классифицирующего аппарата связаны линейной зависимостью с массами частиц i -ой фракции крупности потока готового продукта измельчения и потока песков классификатора:

Для оценки изменяющихся параметров процесса измельчения была сформирована информационная система, в которой учтены данные условия.

Результатом работы информационной системы является прогнозное значение индекса оценки качества готового продукта измельчения. Значение индекса оценки качества по переменным состояниям для конкретного момента времени формирует импульсную модель, которая используется для прогноза состояния процесса и выбора управляющих воздействий. Как управляющие воздействия

используются две переменные: расход питания на мельницу и расход воды в мельничный зумпф.

Проверка адекватности полученной математической модели наглядно показала согласованность экспериментальных данных с моделью.

В 4 главе

для постановки задачи управления и в последствии для разработки системы автоматического управления был проведен анализ процесса измельчения и классификации, как объекта управления. Были определены управляемые переменные, а также управляющие и возмущающие воздействия.

Совокупность критериев оценки качества продукта процесса измельчения и классификации в работе автором предложено именовать как центр оценки качества продукта. Качество продукта находится во взаимосвязи с регламентными режимами и напрямую зависит от максимального соответствия лучшим регламентным режимам ведения технологического процесса. Отклонение по качеству продукта говорит о выходе процесса из области лучших регламентных режимов.

Работа технологического процесса измельчения и классификации представлена как последовательная смена его различных состояний. При этом лучшие регламентные состояния будут формировать область центра оценки качества. Удаленность текущего состояния технологического процесса от центра оценки качества автор в работе предлагает учитывать через индекс оценки качества.

Задачей управления является управляющие воздействия обеспечивающих требуемый режим ведения технологического процесса в область реализации закономерностей формирования лучших регламентных состояний.

В блоке оптимизации задания, находящегося в структуре системы автоматического управления, в соответствии с изменениями минералогического состава, полученной системой оценки параметров модели, осуществляется оптимизация задания, с учетом индекса оценки качества.

Устойчивые процессы в работе представлены режимом конечных импульсных характеристик. После сбора информации производится корректировка на основе нечёткого вывода центра оценки качества продукта r_k по переменным состояниям, назначается величина индекса оценки качества продукта $Ind^{zd}(r_{k+1})$ – заданное значение (выбирается исходя из максимума индекса оценки качества продукта) – уставка для регулятора, по которой и осуществляется минимизация выбором управляющих воздействий. Определяются новые значения $Ind(z_{k+1})$. На основе этих определений делается оценка состояний и, далее, осуществляется процедура оптимизации. Оптимизация ведётся на основе метода внутренних точек.

По результатам проведенных в диссертационной работе экспериментов можно судить об устойчивости созданной системы автоматического управления, при этом динамическая ошибка регулирования находится в пределах 5%.

В заключении приведены основные выводы по работе, результаты, имеющие наибольшую значимость и научную новизну.

В списке использованной литературы содержится 185 источников трудов отечественных и зарубежных авторов по исследуемой тематике.

В приложении 1 представлен, полученный в ООО «Проектно-конструкторское бюро автоматизации производств», акт о возможности применения результатов диссертационного исследования и свидетельствует о том, что теоретические результаты диссертации Туз А.А. доведены до конкретных технологических решений и обладают возможностью практического применения.

Новизна работы

1. Разработана система оценки параметров технологического процесса измельчения, учитывающая минеральный состав сырья.

2. Разработана математическая модель технологического процесса измельчения и классификации с применением нейро-нечетких сетевых моделей.

3. Разработана нечетко-определенная импульсная модель оценки состояния системы замкнутого цикла мокрого измельчения с классификаторами в цикле подготовки питания флотации.

4. Разработан алгоритм управления контуром мокрого измельчения на основе нечетко-определенных импульсных моделей оценки состояния системы.

5. Предложена двухуровневая система автоматического управления контуром мокрого измельчения. На нижнем уровне осуществляется регулирование технологическими параметрами контура мокрого измельчения. Верхний уровень управления формирует задание для нижнего уровня. Данная система автоматического управления позволяет учитывать изменение свойств исходного сырья.

Практическая значимость результатов работы

С точки зрения теории разработанные автором структуры систем управления, кинетические и математические модели процесса измельчения, методики исследования и проведения имитационного эксперимента, результаты исследования влияния минералогического и фракционного состава сырья, а также технологических факторов, описание системы оценки параметров для изучения процесса измельчения являются теоретической основой для проведения дальнейших исследований в области создания систем автоматического управления технологическими процессами измельчения.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики оценки параметров технологического процесса измельчения, которая учитывает минеральный состав сырья. Разработке методики построения модели управления контуром мокрого измельчения на основе прогнозирующих нечетко-определенных импульсных моделей оценки состояния системы. Разработке системы автоматического управления контуром мокрого измельчения, которая может быть рекомендована к использованию в промышленных технологических процессах.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Результаты проведенных исследований имеют перспективы практического использования на предприятиях горнодобывающей промышленности при создании новых или совершенствовании существующих производств.

Полученные результаты будут полезны при модернизации устаревших производств, где присутствуют циклы измельчения, с целью увеличения извлечения ценного компонента и как следствие выхода готового продукта.

Теоретические и практические материалы диссертационного исследования могут быть использованы в учебном процессе высших учебных заведений при обучении студентов и аспирантов различным аспектам сложных систем управления в промышленности, проектировании, создании и использовании интеллектуальных систем автоматического управления.

Достоверность результатов исследования подтверждается результатами проверки на адекватность разработанных моделей и результатами проведенных экспериментов функционирования разработанной системы автоматического управления.

Степень достоверности и обоснованности результатов

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе Туз А.А. строится на использовании современных методов исследования, корректным использованием методов математического моделирования технологических процессов, теории автоматического управления, теории кинетики процессов смешения, практики и чистоты проведения имитационного эксперимента. При математическом моделировании использовались современные пакеты прикладных программ MS Excel, MathCAD, Matlab.

При выполнении диссертационной работы широко использовались теоретические и практические материалы, представленные в учебных пособиях, ГОСТах, нормативных материалах, монографиях, статьях из периодических изданий согласно исследуемой тематики, сборников трудов, написанных как на русском, так и на английском языках. Результаты практических экспериментов показывают достаточно хорошую согласованность с теоретическими положениями.

Основные результаты исследования не противоречат известным зависимостям в области химии, физики, теории автоматического управления.

Достоверность результатов обеспечивается: большой выборкой экспериментальных исследований технологического процесса измельчения; выбором подходов к имитационному моделированию; проверкой адекватности разработанных моделей и алгоритмов управления с использованием проведенных экспериментов. Обсуждением основных положений работы на всероссийских и международных научных мероприятиях и их публикацией в российских и международных рецензируемых научных журналах.

Работа прошла апробацию на V Международной научной конференции «Фундаментальные проблемы системной безопасности». Елец, 2014; Международной научно-технической конференции «Наука и образование». Мурманск, 2014; Школе-семинаре молодых ученых «Фундаментальные проблемы системной безопасности». Елец, 2014.

По основным результатам диссертационной работы опубликовано 9 работ,

отражающих основные результаты работы, в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 3 статьи в рецензируемых российских научных журналах, тезисы 3-х докладов. Публикации и представленные в них выводы соответствуют основной цели и предмету исследования.

Вместе с тем по представленной работе имеются некоторые замечания.

Замечания по работе

1. Отсутствует подробный сравнительный анализ существующих отечественных и зарубежных автоматизированных систем управления процессами измельчения.

2. В работе недостаточно подробно представлены сведения об источниках и типах неопределенности, характеризующих объект исследования.

3. Автором, при описании программно-аппаратного комплекса автоматизированного управления предприятиями промышленного комплекса не проведён анализ влияния надёжности принимаемых решений на эффективность управления.

4. Непонятны источники появления прибыли при реализации данной системы управления.

5. Неясно, каким образом система управления подготовкой питания взаимодействует с другими процессами технологии производства. Складывается впечатление, что данный комплекс работает точно и безукоризненно, никак не связан с окружением, хотя, вероятно, это не совсем так.

6. Дано недостаточно подробное описание работы информационной системы оценки параметров процесса измельчения.

7. Желательным было бы подтверждение новизны правильности принятых технических решений патентами и авторскими свидетельствами.

Перечисленные выше замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на теоретические и практические результаты диссертации.

Общая характеристика работы и соответствие паспорту специальности

Диссертация Туз А.А. является логически связанным завершённым исследованием, обладающим научной новизной и практической ценностью.

Результатом диссертационной работы является система автоматического управления технологическим процессом измельчения с применением импульсных нечетко-определённых моделей, которая определяет текущее состояние технологической системы и является адаптивной к колебаниям фракционного и минералогического состава исходного сырья, а также других физико-механических свойств. Данная система позволяет повысить эффективность и качество процесса измельчения, по выходу заданного фракционного и плотностного состава продукта, а также способствует увеличению ресурса оборудования и снижению эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт действующего оборудования.

Созданные алгоритмы могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских и проектных организациях, занимающихся автоматизацией технологических процессов измельчения и классификации.

Полученные результаты имеют существенное значение для горнорудной промышленности, интенсификации и повышения экономичности рассмотренных автором процессов.

Весь текст работы выдержан на хорошем научном уровне, что говорит о достаточной квалификации автора, умении грамотно излагать свои мысли. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Тематика исследования, формулировка целей и задач, объект и предмет, научная новизна и общая направленность работы подтверждают ее соответствие паспорту специальности:

- 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)»

Пункту 3 «Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.» поскольку обосновывалось, что существующая система управления в отличие от разработанной не учитывает изменение минералогического состава исходного сырья, и в дальнейшем не обеспечивает прогнозирующее управление с учетом этих данных.

Пункту 6 «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления» в части разработки нечетко-определенной импульсной модели оценки состояния системы замкнутого цикла мокрого измельчения с классификаторами в цикле подготовки питания флотации.

Пункту 10 «Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей, функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.» в части использования при решении поставленных задач теории дифференциальных уравнений, теории устойчивости, теории автоматического управления, методов математического моделирования химико-технологических систем, теории химической кинетики.

Пункту 17 «Использование методов автоматизированного проектирования для повышения эффективности разработки и модернизации АСУ» в части использования при синтезе законов управления и моделирования замкнутых систем прикладных математических пакетов Matlab (линейная алгебра, численные методы, динамические системы и т.д.).

05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий»

Соответствие диссертации общей формуле специальности 05.17.08

Часть отраженных в диссертации Туз А.А. научных положений и содержание публикаций по работе подтверждают также ее соответствие формуле научной специальности 05.17.08 - процессы и аппараты химических технологий, содержание которой базируется на физических и химических явлениях (перенос энергии и массы, химические превращения, катализ, физико-химические воздействия на перерабатываемые материалы и т.п.), физической химии (в наибольшей мере - термодинамике); которая ориентирована на совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с

позиций энерго и ресурсосбережения; предполагает изучение свойств и режимов функционирования действующих или вновь создаваемых химико-технологических систем; включает также научное решение проблем создания процессов и аппаратов, разработку технологических схем, формирующих предпосылки эффективного управления и автоматизации.

Соответствие диссертации специальности 05.17.08 по области исследования:

1) «Способы, приемы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещения сыпучих материалов, исследование тепловых процессов в технологических аппаратах и технологических схемах, исследования массообменных процессов и аппаратов» в части разработки и использования модели кинетики измельчения при моделировании процесса измельчения в шаровой мельнице, представленной в виде ячеечной модели, состоящей из каскада трех смесителей.

2) «Методы изучения, расчета, интенсификации оптимизации и разработки (создания) механических процессов подготовки сырья: процессы распределения твердых веществ, процессы формования, процессы смешения веществ» в части разработки математической модели технологического процесса измельчения и классификации с применением нейро-нечетких сетевых моделей, формализующей последовательное превращение сырья в готовую продукцию на основании регламентирующих документов.

3) «Теория подобия и масштабирования химико-технологических процессов и аппаратов, машин и агрегатов» в части проведения комплексных исследований технологического процесса измельчения и классификации, работающих в замкнутом цикле, с использованием математических моделей мельницы и классифицирующего аппарата.

4) «Методы изучения химических процессов и аппаратов, совмещенных процессов» в части проведения комплексных исследований технологического процесса измельчения и классификации, работающих в замкнутом цикле.

5) «Методы изучения, расчета, интенсификации, оптимизации и разработки (создания) механических процессов подготовки сырья: процессы измельчения и распределения твердых веществ, процессы формования, процессы смешения веществ» в части проведения комплексных исследований технологического процесса измельчения и классификации, работающих в замкнутом цикле, с использованием математических моделей мельницы и классифицирующего аппарата.

Заключение

На основании вышеизложенного, ведущая организация считает, что диссертация на тему «Управление технологическим процессом измельчения в шаровой мельнице в цикле подготовки питания флотации на основе нечётко-определённых импульсных моделей» является законченной научно-квалификационной работой и в полной мере удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842), а ее автор Туз Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.06 «Автоматизация и управление

технологическими процессами и производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)» и 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий».

Диссертационная работа обсуждена, отзыв заслушан и одобрен на расширенном заседании кафедры «Электроэнергетика» совместно с кафедрой «Систем автоматического управления» ФГБОУ ВО «Тульский Государственный Университет»

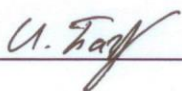
Протокол № 11 от «31» октября 2017 года.

Доктор технических наук, профессор,
Заведующий кафедры «Электроэнергетика»


В.М. Степанов

Кандидат технических наук,

ассистент кафедры «Электроэнергетика»


И.М. Базыль

Сведения:

д.т.н., профессор, зав. кафедры «Электроэнергетика» Степанов Владимир Михайлович

к.т.н., ассистент кафедры «Электроэнергетика» Базыль Илья Михайлович

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Почтовый адрес: Россия, 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92. Контактные телефоны: +7(4872) 73-44-44

Электронная почта: info@tsu.tula.ru. Веб-сайт: tsu.tula.ru

Подпись: Степанов В.М. и Базыль И.М.

Подпись: Базыль И.М.

