

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и трансферу технологий

Национального исследовательского
Томского политехнического
университета



Сухих Л.Г.

«21» августа 2022г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «Оптимальное управление процессом измельчения в шаровой мельнице с применением прогнозирующей модели» выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Закамалдин Андрей Андреевич обучался в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Отделение электроэнергетики и электротехники, Инженерная школа энергетики.

В 2016 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника», присвоена квалификация магистра.

Диплом об окончании аспирантуры №1070040020785 по направлению подготовки 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника» выдан 06.06.2020 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:

Шилин Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор ОЭЭ ИШЭ. Основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Отделение электроэнергетики и электротехники, Инженерная школа энергетики.

Слушали сообщение диссертанта Закамалдина Андрея Андреевича о результатах выполнения научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание степени кандидата технических наук по направлению подготовки 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника», Специальность 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Общая характеристика работы

Диссертация Закамалдина Андрея Андреевича представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в области оптимального управления процессом измельчения руды в шаровой мельнице.

Постановили на основании отчета о выполнении научно-квалификационной работы (диссертации) на тему «Оптимальное управление процессом измельчения в шаровой мельнице с применением прогнозирующей модели», диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, соответствует специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами». Диссертационная работа по своей актуальности, научной новизне, практической значимости отвечает требованиям п. 9 «О порядке присуждения ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Актуальность темы исследования

Одним из важных направлений развития процесса измельчения руды в шаровых мельницах является повышения производительности мельницы по руде. Практика показывает, что поддержание массы твердой и жидкой фаз внутри мельницы (внутримельничного заполнения) на оптимальном уровне позволяет извлекать максимальную эффективность: высокую

производительность по руде, необходимую крупность измельчения руды, экономию электроэнергии. Проблема заключается в том, что контролировать параметр внутримельничного заполнения напрямую средствами КИП не представляется возможным, поэтому измеряются параметры, косвенно характеризующие искомый. В свою очередь регулирование по таким косвенным параметрам составляет сложную задачу, поскольку процесс измельчения сложен и многофакторен, а также является неустойчивым в режимах функциональной нестабильности. К таким режимам относится эксплуатация мельницы с максимальной производительностью, когда имеется вероятность перегруза мельницы рудой. Таким образом, имеет место проблемная ситуация между необходимостью повышения производительности, энергоэффективности и оперативности управления параметром внутримельничного заполнения шаровой мельницы и возможностями существующих систем контроля и управления технологическим процессом измельчения. В предложенной соискателем системе управления шаровой мельницей используются новые решения, позволяющие повысить производительность передела измельчения, снижения колебаний управляемых параметров, экономии энергии и повышения устойчивости в режимах функциональной нестабильности.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад автора состоит в формулировании задач диссертационных исследований, планировании экспериментов, разработке методик, проведении опытов и анализа полученных данных, обработке результатов экспериментальных и теоретических исследований, апробации последних, разработке рекомендаций использования результатов исследований, формулировке защищаемых положений и выводов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных в ходе экспериментальных исследований результатов подтверждается результатами моделирования и их сравнения с результатами, полученными на реальном объекте, а также на экспериментальной установке.

Новизна результатов проведенных исследований

Предложена новая математическая модель замкнутого цикла мокрого измельчения в мельнице барабанного типа с разгрузкой через торцевую решетку. Модель предназначена для разработки новых систем

автоматического регулирования плотностью пульпы на классификацию и автоматического управления загрузкой мельницы и их отладки на режимах работы мельницы близких к перегрузу. Модель отличается использованием нейросетевой модели вибрации разгрузочной цапфы мельницы, и позволяет осуществлять контроль перегруза мельницы рудой по расчетному параметру массы материала в мельнице. Предложены новые решения для АСУТП измельчения, отличающиеся от традиционных АСУТП применением на уровне ПЛК регуляторов с линейной прогнозирующей моделью и наблюдателем возмущений, для повышения производительности мельницы по руде, снижения колебаний управляемых параметров, экономии электроэнергии, избегая перегрузки мельницы, и отличающиеся от систем усовершенствованного управления (СУУТП) значительно более низкой стоимостью.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Практическая значимость исследования заключается в разработке алгоритмического и программного обеспечения системы автоматического управления загрузкой мельницы, которые могут быть рекомендованы для применения в АСУТП замкнутых циклов измельчения в шаровой мельнице с решеткой для повышения производительности и устойчивости технологического процесса и уменьшения затрат электроэнергии приводом мельницы.

Апробация результатов исследования

Основные результаты диссертационной работы были представлены на научно-технических конференциях и семинарах: «IV международный молодёжный форум «Интеллектуальные энергосистемы» (Томск, 2016), «XII международная научно-практическая конференция «Современные проблемы машиностроения» (Томск, 2019), «Международная научная конференция «Безопасность: информация, техника, управление» Современные проблемы машиностроения» (Санкт-Петербург, 2020) и в период аспирантской подготовки докладывались на семинарах отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики НИ ТПУ и отделения автоматизации ООО «НПО «СПБЭК». Основные результаты диссертации, полученные автором при выполнении исследований, прошли проверку на данных, полученных в условиях эксплуатации апатито-нефелиновой обогатительной фабрики №2 КФ АО «Апатит».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Всего по теме диссертации Закамалдин А.А. опубликовано 8 научных работ, в том числе две из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК. Две публикации проиндексированы в базе Scopus и WoS. Имеется одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Публикации в журналах из перечня ВАК

1. Закамалдин, А. А. Моделирование замкнутого цикла измельчения в шаровой барабанной мельнице с разгрузкой через торцевую решетку / А. А. Закамалдин, А. А. Шилин // *Технология машиностроения*. – 2021. – № 8. – С. 12-20.
2. Закамалдин, А. А. Построение системы автоматического управления с прогнозирующей моделью для стабилизации плотности и уровня при перемешивании пульпы в горно-обогательном оборудовании / А. А. Закамалдин, А. А. Шилин // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. – 2021. – № 58. – С. 77-83.

Публикации в трудах конференций, индексируемых WoS и Scopus

3. Zakamaldin A. A., Andyk V. S. Parametric Identification of Control Systems Using Artificial Neural Networks // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2015. – Т. 37. – С. 01064.
4. Zakamaldin A. A. Neural simulation of ball mill grinding process / Zakamaldin A. A., Shilin A. A. // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* – 2020. – Т. 795. – №. 012010. – С. 1–7.

Публикации в трудах конференций

5. Закамалдин, А. А. Моделирование адаптивной системы нейро-нечеткого управления ветроэнергетической установкой / А. А. Закамалдин, В. С. Андык // *Интеллектуальные энергосистемы: труды IV Международного молодежного форума, 10-14 октября 2016 г., г. Томск 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ)*. -2016. -Т. 1. – С. 155-159.
6. Закамалдин, А. А. Пути усовершенствования системы автоматического управления процессом измельчения // *Современные научные исследования и разработки*. 2018. №10(27). – С. 359-362.
7. Zakamaldin A. A., Plastunova S. N., Shilin A. A. Problems of automated control and avoiding of overloading drum mills with ore // *Безопасность: Информация, Техника, Управление*. – 2020. – С. 49-52.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

8. Закамалдин А. А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614491. Регулятор многопараметрический с прогнозирующей моделью и наблюдателем возмущений / Закамалдин А. А. Заявка № 2022613395. Дата поступления 03 марта 2022 г. Зарегистрировано в бюллетене 22 марта 2022 г.

Перечисленные публикации полностью отражают основное содержание диссертационной работы. Доля авторского участия соискателя в работах 1–8 составляет от 80 до 90 %.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», пунктам из паспорта специальности:

Построена новая система управления внутримельничным заполнением материалом шаровой мельницы с разгрузкой через торцевую решетку в замкнутом цикле измельчения с применением управления с прогнозирующей моделью и активным подавлением возмущающих воздействий – пункт 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.).

Разработана новая математическая модель для замкнутого цикла мокрого измельчения в мельнице барабанного типа с разгрузкой через торцевую решетку на основании решения уравнений баланса материальных потоков в цикле – пункт 4 (Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация).

В ходе исследования была разработана модель по каналу производительность мельницы управления – вибрация разгрузочной цапфы мельницы методом нейросетевой идентификации по данным вход-выход реального объекта – пункт 6 (Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления).

Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для потенциальной интеграции разработанных систем управления в АСУТП обогатительных фабрик с возможностью повысить производительность передела измельчения, снижения колебаний управляемых параметров, экономии энергии – пункт 10 (Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и

типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.).

Диссертация «Оптимальное управление процессом измельчения в шаровой мельнице с применением прогнозирующей модели» Закамалдина Андрея Андреевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Заключение принято на заседании Электромеханической секции Научно-технического совета Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании – 12 человек из 15 членов Электромеханической секций Научно-технического совета Инженерной школы энергетики.

Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 10 от «20» апреля 2022 года.

Председатель Электромеханической
секции Научно-технического совета,
д.т.н., профессор, ОЭЭ ИШЭ ТПУ,
профессор


_____ А.Г. Гарганеев

Секретарь научно-технического совета
ИШЭ ТПУ


_____ С.В. Филимонова

Подписи Гарганеева А.Г. и Филимоновой С.В. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ


_____ Е.А. Кулинич