

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.6
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.09.2025 № 26

О присуждении Мальковой Яне Михайловне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Автоматизированный электропривод шаровой мельницы с интегрированным мониторингом параметров процесса измельчения» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 21.07.2025, протокол заседания № 21, диссертационным советом ГУ.6 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 154 адм, с изменениями от 31.08.2023 №1193 адм, с изменениями от 30.07.2024 №1212 адм.

Соискатель, Малькова Яна Михайловна, 30 января 1998 года рождения, в 2021 году с отличием окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело.

С 01.10.2021 г. по настоящее время соискатель Малькова Яна Михайловна является аспирантом очной формы обучения кафедры метрологии, приборостроения и управления качеством в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре электроэнергетики и электромеханики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Жуковский Юрий Леонидович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра электроэнергетики и электромеханики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Самохвалов Дмитрий Вадимович – кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», кафедра робототехники и автоматизации производственных систем, доцент;

Шишлянников Дмитрий Игоревич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Горная электромеханика», профессор;
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Акционерное общество «Союзцветметавтоматика им. Топчаева В.П.»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном **Морозовым Валерием Валентиновичем**, доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора по научной работе и утвержденном **Дёминым Александром Викторовичем**, кандидатом технических наук, генеральным директором указала, что представлено новое решение актуальной научно-технической задачи повышения энергоэффективности процесса измельчения в шаровых мельницах за счет вычисления оптимальной частоты вращения двигателя мельницы на основе мониторинга параметров процесса измельчения по току статора и ее обеспечения с помощью преобразователя частоты, которое может быть использовано на горно-обогатительных предприятиях.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 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 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Общий объем – 4,75 печатных листов, в том числе 1,9 печатных листов – соискателя.

Публикации 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:

1. Жуковский, Ю.Л. Классификация способов повышения эффективности процесса измельчения и реализация энергоэффективных алгоритмов управления двухдвигательным электроприводом мельницы / Ю.Л. Жуковский, **Я.М. Малькова** // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – №. 4. – С. 20-35. (№ 899 Перечня ВАК ред. 20.07.2022)

Соискателем проведен научный обзор источников литературы в области повышения эффективности процесса измельчения, в результате которого определено, что применение решений на основе электропривода способствуют повышению энергоэффективности данного процесса. Соискателем разработана классификация способов повышения эффективности процесса измельчения. Разработана структурная схема системы управления двухдвигательным электроприводом мельницы. Разработана модель двухдвигательного электропривода мельницы с предлагаемой системой управления. В экспериментальной части проведено имитационное моделирование двухдвигательного электропривода мельницы. Разработанная структурная схема системы управления двухдвигательным электроприводом позволяет обеспечить равномерное распределение нагрузки между приводными двигателями и обеспечить эффективное управление процессом измельчения.

2. Королев, Н.А. Влияние отклонений индуктивности цепи намагничивания на характеристики электропривода со скалярной системой управления / Н.А. Королев, М.С. Ковальчук, **Я.М. Малькова** // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – №. 4. – С. 13-26. (№ 1069 Перечня ВАК ред. 30.10.2024)

Соискателем установлено, что отклонение индуктивности цепи намагничивания схемы замещения асинхронного двигателя оказывает наибольшее влияние на энергетические и механические характеристики электропривода. Разработана имитационная модель электропривода со скалярной системой управления. Проведено имитационное моделирование электропривода с асинхронным двигателем со скалярной системой управления. Выполнена оценка поведения скалярной системы управления асинхронного электродвигателя по энергетическим и механическим характеристикам электропривода.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Vasilev, B.U. Control System of a Complete Electric Drive of a Mill for Grinding Gold-containing Ores / B.U. Vasilev, **Y.M. Malkova**, D.V. Mardashov // 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical

and Electronic Engineering (EIConRus). – IEEE, 2020. – PP. 936-941. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039468.

Васильев, Б.Ю. Система управления комплектным электроприводом мельницы для измельчения золотосодержащих руд / Б.Ю. Васильев, **Я.М. Малькова**, Д.В. Мардашов // 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – IEEE, 2020. – С. 936-941. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039468.

Соискателем разработана функциональная схема комплектного двухдвигательного электропривода барабанной мельницы с основными контрольно-измерительными приборами, исполнительными механизмами и алгоритмами управления, требуемыми для эффективного управления процессом измельчения. Предложен алгоритм по вычислению оптимальной частоты вращения электродвигателя механизма вращения. На основе математической модели процесса измельчения предложена система управления электроприводом шаровой мельницы. Разработана имитационная модель двухдвигательного электропривода барабанной мельницы с технологической системой управления в составе электропривода, на основе которой выполнено моделирование предлагаемых технических решений. По результатам моделирования установлено, что разработанные алгоритмы управления двухдвигательного электропривода барабанной мельницы позволяют обеспечить требуемый выход готового продукта и равномерное распределение нагрузки между приводными машинами.

4. Zhukovskiy, Y.L. Monitoring of grinding condition in drum mills based on resulting shaft torque / Y.L. Zhukovskiy, N.A. Korolev, **Y.M. Malkova** // Journal of Mining Institute. – 2022. – Т. 256. – PP. 686-700. DOI: 10.31897/PMI.2022.91.

Жуковский, Ю.Л. Мониторинг состояния измельчения в барабанных мельницах по результирующему моменту на валу / Ю.Л. Жуковский, Н.А. Королев, **Я.М. Малькова** // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 686-700. DOI: 10.31897/PMI.2022.91.

Соискателем установлено, что существующие методы мониторинга параметров процесса измельчения не позволяют осуществлять непрерывный мониторинг внутримельничной загрузки мельницы без непосредственного крепления измерительных приборов к измельчительному агрегату. Соискателем предложен способ мониторинга параметров процесса измельчения на основе электромагнитного момента электропривода барабанной мельницы. Для возможности обеспечения непрерывного мониторинга процесса измельчения на основе спектра электромагнитного

момента электропривода мельницы соискателем разработана комплексная модель электропривода мельницы при использования программных сред Rocky DEM и Matlab Simulink. По результатам моделирования, установлено, что изменение поведения внутримельничной загрузки процесса измельчения оказывает влияние на спектральный состав электромагнитного момента электропривода барабанной мельницы.

5. Zhukovskiy, Yu. L. Analysis of the behavior of asynchronous electric drive with a closed scalar control system when changing the inductance of the magnetizing circuit / Yu. L. Zhukovskiy, B.Y. Vasilev, N.A. Korolev, **Y.M. Malkova** // Indonesian Journal of Science and Technology. – 2023. – Т. 8. – №. 1. – PP. 65-78. DOI: 10.17509/ijost.v8i1.51983.

Жуковский, Ю.Л. Анализ поведения асинхронного электропривода с замкнутой скалярной системой управления при изменении индуктивности цепи намагничивания / Ю.Л. Жуковский, Б.Ю. Васильев, Н.А. Королев, **Я.М. Малькова** // Indonesian Journal of Science and Technology. – 2023. – Т. 8. – №. 1. – С. 65-78. DOI: 10.17509/ijost.v8i1.51983.

Соискателем выполнен научный обзор источников литературы по выявлению основных факторов, оказывающих влияние на основные энергетические и механические характеристики асинхронного электропривода. Установлено, что индуктивность цепи намагничивания в схеме замещения асинхронного двигателя оказывает наибольшее влияние на работу электропривода. Соискателем разработана имитационная модель электропривода, проведено исследование формирования электромагнитного момента электропривода при изменении индуктивности цепи намагничивания с двигательной системой управления и без нее. Установлено, что отклонение индуктивности цепи намагничивания более, чем на 10%, приводит к опрокидыванию двигателя. Обеспечение требуемых механических и энергетических характеристик электропривода при отклонении индуктивности цепи намагничивания достижимо при использовании двигательной системы управления.

Публикации в прочих изданиях:

6. **Малькова, Я.М.** Многофакторная технология управления измельчением в мельницах при обогащении золотосодержащих руд / **Я.М. Малькова**, Б.Ю. Васильев // Неделя науки СПбПУ: Материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 19–23 ноября 2019 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019. – Санкт-Петербург: Изд. СПбПУ, – 2019. – С. 18-20.

Соискателем сформулированы требования к системам управления процесса измельчения на основе комплектного электропривода с учетом

технологический особенностей измельчения. Предложена схема, на которой представлены основные механизмы процесса измельчения и необходимые электроприводы для его эффективного управления.

7. **Malkova, Y.M.** Control system for electric drive of a ball mill rotation mechanism / **Y.M. Malkova**, B.U. Vasilev // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: Scientific Conference Abstracts XVI International Forum-Contest of Students and Young Researchers. St. Petersburg, 17-19 June 2020 / St. Petersburg Mining University, 2020. – St. Petersburg: Pub. St. Petersburg Mining University, – 2020. – PP. 232-233.

Малькова, Я.М. Система управления электропривода механизма вращения шаровой мельницы / **Я.М. Малькова**, Б.Ю. Васильев // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов научной конференции XVI Международного форума-конкурса студентов и молодых специалистов. Санкт-Петербург, 17-19 июня 2020 год / Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – Санкт-Петербург: Изд. Санкт-Петербургский горный университет, – 2020. – С. 232-233

Соискателем предложено рассмотреть возможность корректировки скоростного режима работы мельницы для повышения технологической и энергетической эффективности. Предложен алгоритм, позволяющий учитывать физико-механические свойства руды на основе данных о расходе исходной руды и готового продукта. Для реализации предложенного алгоритма предлагается структура двухдвигательного автоматизированного электропривода мельницы. Предложен алгоритм управления двухдвигательным электроприводом на основе коррекции потокосцепления для обеспечения равномерной нагрузки между машинами и, как следствие, равномерного износа оборудования.

8. **Малькова, Я.М.** Система управления высоковольтного двухдвигательного электропривода с модульным многоуровневым преобразователем (ММП) / **Я.М. Малькова**, А.И. Данцевич // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов конференции XXVI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 12-13 марта 2020 года / Московский энергетический университет, 2020. – Москва: Изд. Радуга, 2020. – С. 438.

Соискателем предложена структура двухдвигательного электропривода с модульным многоуровневым преобразователем частоты. Разработана имитационная модель рассматриваемого электропривода в программной среде Matlab Simulink. Проведены исследования электропривода с разными алгоритмами модуляционной системы управления многоуровневого инвертора. Установлены отличия

спектрального состава выходного напряжения преобразователя частоты при изменении формы и частоты опорных сигналов.

9. **Малькова, Я.М.** Система управления двухдвигательным электроприводом шаровой мельницы // Актуальные проблемы недропользования. XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов: тезисы докладов. Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года / Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – СПб: Изд. СПбГУ, 2020. – С. 328-329.

Соискателем разработана система управления двухдвигательным электроприводом с модульным многоуровневым преобразователем частоты. Разработана имитационная модель модульного многоуровневого преобразователя частоты. Выполнено моделирование рассматриваемой топологии преобразователя с разными модуляционными алгоритмами: синусоидальная широтно-импульсная модуляция с опорными сигналами, сдвинутыми по амплитуде, и синусоидальная широтно-импульсная модуляция с опорными сигналами, сдвинутыми по фазе. Установлено, что использование синусоидальной широтно-импульсной модуляции с опорными сигналами, сдвинутыми по фазе, позволяет обеспечить снижение искажений в выходном напряжении преобразователя частоты.

10. **Malkova, Y.M.** Development of a complete automated electric drive for a ball mill with increased technological and energy efficiency / **Y.M. Malkova, Yu.L. Zhukovskiy** // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers. Scientific conference abstracts. St. Petersburg, 31 May – 6 June 2021 / St. Petersburg Mining University, 2021. – St. Petersburg: Pub. St. Petersburg Mining University, 2021. – PP. 157-158.

Малькова, Я.М. Разработка комплектного автоматизированного электропривода шаровой мельницы с повышенной технологической и энергетической эффективностью / Я.М. Малькова, Ю.Л. Жуковский // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов научной конференции XVII Международного форума-конкурса студентов и молодых специалистов. Санкт-Петербург, 31 мая – 6 июня 2021 год / Санкт-Петербургский горный университет, 2021 – Санкт-Петербург: Изд. Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 157-158.

Соискателем выполнена оценка затрат электроэнергии, требуемых для измельчения руды с учетом вариативности ее свойств. Установлено, что технические решения на основе комплектного электропривода шаровой мельницы позволяют обеспечить снижение энергозатрат для измельчения

руды за счет подбора оптимального скоростного режима электродвигателя мельницы.

11. Королев, Н.А. Совершенствование методики идентификация неисправности асинхронного привода по потребляемому току / Н.А. Королев, **Я.М. Малькова** // Нефть и газ – 2022: Тезисы докладов 76-ой Международной молодежной научной конференции. Том 2. Москва, 25-29 апреля 2022 года / РГУ нефти и газа им. Губкина, 2022. – Москва: Изд. РГУ нефти и газа им. Губкина, 2022. – С. 284-285.

Соискателем предложено рассмотреть способ мониторинга асинхронного двигателя на основе комплексного анализа компонент потребляемого тока асинхронного двигателя. Анализ компонент предложено осуществлять на основе функции быстрого преобразования Фурье. Установлены основные преимущества рассматриваемого способа, среди которых: непрерывный мониторинг и незначительные конструктивные изменения силовой и управляющей частей электропривода.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

12. Патент № 2806426 Российская Федерация, МПК В02С 25/00 (2006.01); СПК В02С 25/00 (2023.08). Способ мониторинга процесса измельчения в барабанных мельницах. Заявка № 2023110519: заявл. 25.04.2023; опубл. 31.10.2023 / Ю.Л. Жуковский, Н.А. Королев, **Я.М. Малькова**; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 15с.

Соискателем разработан способ мониторинга параметров процесса измельчения в барабанных мельницах на основе непрерывного анализа частотных составляющих путем применения функции быстрого преобразования Фурье для сигналов электромагнитного момента электропривода мельницы.

Апробация работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

1. XVII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Topical issues of rational use of natural resources» (июнь 2021 года, г. Санкт-Петербург, «Санкт-Петербургский горный университет»).

2. Международный форум «Нефть и газ 2022» (апрель 2022 года, г. Москва, «РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина»);

3. Международная горнопромышленная конференция «Баренц-арктическое экономическое партнерство» (ноябрь 2022 года, г. Апатиты, «ФИЦ КНЦ РАН»).

4. Международный научный симпозиум «Неделя горняка – 2023» (январь 2023 года, 9 г. Москва, «НИТУ МИСИС»).

5. XII Международный научно-практический форум «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий. Безопасное и эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (май 2025 года, г. Санкт-Петербург, «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»).

В диссертации Мальковой Яны Михайловны отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой Электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», к.т.н., доцента **В.Ю. Карандея** и профессора той же кафедры, д.т.н., профессора **Б.А. Коробейникова**; ведущего эксперта ООО «ПЭСК», д.т.н. **А.В. Тимофеева**; генерального директора ООО «СТАРСИСТ+», к.т.н. **П.И. Першина**; директора ДСАЭМ АО «Силовые машины», к.т.н. **Г.А. Гоголева**, и, ведущего эксперта ДСАЭМ, профессора кафедры РАПС СПбГЭТУ (ЛЭТИ), д.т.н. **М.В. Пронина**

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. В работе получена зависимость тока статора приводного двигателя электропривода шаровой мельницы от изменения степени износа футеровки барабана на основе конкретной модели мельницы в программном обеспечении Rocky DEM. Следует пояснить, чем обоснован выбор данного типоразмера мельницы (к.т.н. **В.Ю. Карандей** и д.т.н. **Б.А. Коробейников**);

2. В основе программно-управляемого датчика лежит модель популяционного баланса. Следует пояснить, чем обоснован выбор данной модели (к.т.н. **В.Ю. Карандей** и д.т.н. **Б.А. Коробейников**);

3. Итоговый результат алгоритма представлен в виде оптимальной частоты вращения шаровой мельницы, выраженной относительно критической скорости; при этом блок-схема алгоритма (рисунок 4) не содержит явно обозначенного этапа расчёта частоты вращения двигателя (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

4. В автореферате отсутствует определение количественной метрики износа футеровки, применяемой при анализе взаимосвязи с гармоническим спектром тока электродвигателя (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

5. Не приведены значения параметров мельницы, на которых основана установленная зависимость степени износа футеровки от гармонического коэффициента (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

6. Отсутствуют пояснения к сокращениям, использованным на рисунке 6 (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

7. В автореферате не раскрыто, с какой целью выполняется усреднение спектра тока двигателя в разработанном алгоритме мониторинга износа футеровки шаровой мельницы (к.т.н. **П.И. Першин**);

8. В работе не до конца раскрыто влияние зацепления ведущей вал-шестерни и зубчатого венца мельницы и частоты коммутаций инвертора на спектральный состав тока статора двигателя при анализе спектра тока двигателя (к.т.н. **П.И. Першин**);

9. На стр. 3 автореферата указано, что «Отечественные системы электроприводов строятся, как правило, на основе нерегулируемых электродвигателей...». Утверждение ошибочно. Многие предприятия РФ разрабатывают и поставляют электроприводы с ПЧ. АО «Силовые машины» разрабатывает и поставляет преобразователи ПУ-6-08, ПУ-6-05 для приводов мельниц, для пуска, торможения и прокрутки турбоагрегатов в ПГУ и компенсаторов АСК-100. Выполняются также разработки и поставки транзисторных ПЧ для экскаваторов, самосвалов БелАз, систем электродвижения судов и др. (к.т.н. **Г.А. Гоголев** и д.т.н. **М.В. Пронин**);

10. В автореферате использованы неясные термины и формулировки. Например, на стр. 11 «гипотеза о возможности износа футеровки барабана по спектру тока», «момент внутримельничной загрузки», на стр. 12 «усредненный спектр тока», «длина сигнала», «размер преобразования Фурье» (к.т.н. **Г.А. Гоголев** и д.т.н. **М.В. Пронин**);

11. В автореферате на стр. 13 приведена формула (1) для определения коэффициента гармоник, которая не соответствует общепринятому определению этого коэффициента. В предыдущих абзацах указано, что для расчетов используется спектр тока. В формуле (1) в знаменателе указано среднее значение сигнала. Но среднее значение тока асинхронного двигателя равно нулю. Может быть используется другой сигнал? (к.т.н. **Г.А. Гоголев** и д.т.н. **М.В. Пронин**);

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан алгоритм управления электроприводом на основе мониторинга параметров процесса измельчения по току статора приводного двигателя шаровой мельницы;

предложен подход к мониторингу износа футеровки барабана мельницы на основе анализа спектра тока статора приводного двигателя электропривода шаровой мельницы;

доказана возможность снижения удельных затрат электроэнергии в пределах 16% за счет автоматизированного электропривода шаровой мельниц с учетом изменения диаметра и шаровой загрузки барабана мельницы;

введен коэффициент гармоник применительно к определению износа футеровки; введено понятие характеристического вектора из спектральных компонент, отражающий степень износа футеровки барабана мельницы; введено понятие динамической модели процесса измельчения, параметры которой адаптивны под кластер руды.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в развитие энергоэффективных технических решений на основе автоматизированного электропривода, эксплуатируемых в составе электротехнических комплексов шаровых мельниц.

для решения поставленных задач в диссертации результативно использованы статистические методы обработки данных, численного анализа, теории обобщенной электрической машины, теории электропривода, моделирования в среде Rocky DEM, моделирования в среде Matlab Simulink, методов машинного обучения, методов теории оптимизации, программирования на языке Python;

изложена идея в создании интегрированного в технологическую систему управления автоматизированным электроприводом шаровой мельницы алгоритма управления скоростью вращения барабана;

раскрыто влияние внутримельничной загрузки на электромеханические характеристики электропривода шаровой мельницы, а также противоречие в использовании принятых систем электроприводов шаровых мельниц без учета мониторинга количества готового класса и износа футеровки барабана;

изучено влияние скоростных режимов работы электродвигателя шаровой мельницы на параметры процесса измельчения; изучены структуры электроприводов шаровых мельниц и подходы к эффективному управлению процессом измельчения на основе автоматизированного электропривода;

проведена модернизация структуры электропривода шаровой мельницы на основе каскадного преобразователя частоты и интеллектуальной системы управления измельчения;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена «Методика мониторинга процесса измельчения по характеристикам электропривода» в производственный процесс ООО «Лаборатория инжиниринга»;

определены пределы и перспективы практического применения предлагаемого алгоритма вычисления оптимальной частоты вращения электродвигателя шаровой мельницы с интегрированной системой мониторинга параметров процесса измельчения;

создана модернизированная структура электропривода шаровой мельницы за счет включения в ее состав мониторинга износа футеровки на основе тока статора; гранулометра, представляющего собой программно-управляемый датчик, на основе разработанной динамической модели; алгоритма расчета оптимальной частоты вращения двигателя.

представлены рекомендации для применения разработанного алгоритма управления частотой вращения двигателя при проектировании новых автоматизированных электроприводов шаровых мельницы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, обоснованы калибровки, показана воспроизводимость результатов исследования;

теория построена на основе известных и достоверных данных, которые согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе передового опыта и практики применения автоматизированного электропривода шаровых мельниц;

использованы данные, опубликованные ранее по рассматриваемой тематике, в том числе результаты зарубежных исследований;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики измерений и обработки результатов экспериментов, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов контроля.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы; разработке комплексной имитационной модели электропривода, на основе которой проведены исследования; разработке динамической модели процесса измельчения на основе экспериментальных

данных; разработке алгоритма вычисления оптимальной частоты вращения шаровой мельницы; в оценке технико-экономических показателей эффективности применения автоматизированного электропривода с интегрированным мониторингом параметров процесса измельчения. Основные результаты диссертационной работы изложены в подготовленных научных публикациях и представлены на конференциях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

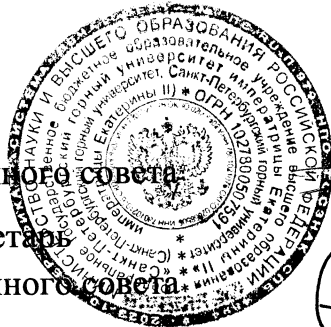
Соискатель Малькова Яна Михайловна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании 25.09.2025 диссертационный совет принял решение присудить **Мальковой Яне Михайловне** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи повышения энергоэффективности процесса измельчения в шаровых мельницах, используемых на железорудных горно-обогатительных комбинатах, путем алгоритма управления частотой вращения электродвигателя с учетом мониторинга количества готового класса и износа футеровки барабана.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук (по специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Назарычев
Александр Николаевич

Устинов
Денис Анатольевич

25.09.2025 г.