

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 04.07.2025 № 11

О присуждении Нгуен Тхе Хиен, гражданину Вьетнама, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Асинхронный электропривод с системой прямого управления и алгоритмом стохастической модуляции со стабилизированным диапазоном изменения частоты коммутации инвертора» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 24.04.2025, протокол заседания № 5, 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, Нгуен Тхе Хиен, 16 июля 1996 года рождения, в 2021 году с отличием окончил федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Михайловская военная артиллерийская академия» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы».

В период подготовки диссертации с 01.10.2021 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры электроэнергетики и электромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Диссертация выполнена на кафедре электроэнергетики и электромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – Васильев Богдан Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет

императрицы Екатерины II», кафедра электроэнергетики и электромеханики, доцент кафедры.

Официальные оппоненты:

Мещеряков Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра автоматизированного электропривода и робототехники, заведующий кафедрой;

Лукичев Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», факультет систем управления и робототехники, доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»**, г. Кемерово, в своем положительном отзыве, подписанном Шаулевой Надеждой Михайловной, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электропривода и автоматизации, Леоновой Юлией Юрьевной, старшим преподавателем той же кафедры, секретарем заседания, и утвержденном Яковлевым Алексеем Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, ректором, указала, что результаты диссертационного исследования обладают как значительной теоретической ценностью, так и выраженной практической направленностью. В теоретической части работы автором разработана математическая модель алгоритма стохастической модуляции, реализованная с использованием методов имитационного моделирования. Практическая значимость подтверждается разработкой системы управления электроприводом, в которой реализовано оригинальное техническое решение с применением шестипозиционного регулятора момента и двухпозиционного регулятора потокосцепления статора.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, 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 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 2 патента.

Общий объем – 3,44 печатных листов, в том числе 1,86 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. **Нгуен Т.Х.** Анализ автономных роботизированных машин горного производства с автономными системами электродвижения / **Нгуен Т.Х.**, Васильев Б.Ю // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 5 (163). С. 59-69. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-5-59-69.

Соискателем проанализированы существующие системы электродвижения с выявлением их преимуществ и недостатков. Установлено, что наиболее эффективны системы с двумя асинхронными двигателями, стохастической модуляцией управления инверторами и системой прямого управления. В ходе исследования определены основные факторы, оказывающие влияние на эффективность работы электродвигателей в условиях горнодобывающей промышленности. На основе этого разработана система электродвижения, направленная на повышение эффективности, надежности и снижение недостатков электрического оборудования.

2. Васильев Б.Ю. Анализ системы широтно-импульсной модуляции с функциональным изменением частоты коммутации в электроприводах транспорта с аккумуляторным источником / Васильев Б.Ю., **Нгуен Т.Х** // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 3 (173). С. 3-12. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-3-12.

Соискателем проанализированы методы широтно-импульсной модуляции: традиционный с постоянной частотой коммутации и альтернативный с функциональным изменением частоты. Выявлены ограничения метода с постоянной частотой, включая появление гармоник и резонансных явлений, негативно влияющих на работу системы. Определены преимущества и недостатки функционального изменения частоты, а также его влияние на аккумулятор, качество работы электрической машины и энергетическую эффективность привода. Основное внимание уделено снижению амплитуд высших гармоник и уменьшению требований к фильтрации. Разработана модель системы широтно-импульсной модуляции с функциональным изменением частоты коммутации в Matlab/Simulink.

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

3. Васильев Б.Ю. Анализ влияния полупроводниковых преобразователей на батарею и двигатель асинхронного привода шахтных горно-транспортных машин / Васильев Б.Ю., **Нгуен Т.Х** // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9-1. С. 299–318. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_299.

Соискателем проанализированы перспективные виды транспорта в горнодобывающей промышленности с акцентом на электрическое оборудование на аккумуляторных батареях. Основное ограничение электрического оборудования

заключается в сокращённом запасе хода по сравнению с аналогами на базе двигателей внутреннего сгорания. Определены ключевые методы борьбы с высшими гармоническими составляющими: использование активных фильтров, эффективных полупроводниковых преобразователей и улучшение систем управления. Рассмотрены типы инверторов и их влияние на качество работы асинхронного привода. Разработаны имитационные модели асинхронного привода в Matlab/Simulink для исследования работы с аккумуляторными батареями через двух- и трехуровневые автономные инверторы.

4. Yurievich, V.B. Stochastic Pulse-Width Modulation and Modification of Direct Torque Control Based on a Three-Level Neutral-Point Clamped Inverter (Стохастическая широтно-импульсная модуляция и модификация системы прямого управления моментом на основе трехуровневого инвертора с фиксированной нейтральной точкой) / Yurievich, V.B.; Hien, N.T // Energies 2024. № 17 (6017). DOI: 10.3390/en17236017.

Соискателем проанализирован трёхуровневый инвертор с фиксированной нейтральной точкой при его использовании в системах прямого управления моментом асинхронных двигателей. Особое внимание уделено исследованию алгоритма стохастической модуляции, эффективность которого подтверждается значительным снижением амплитуды гармонических колебаний и минимизацией потерь на переключение транзисторов. Выделены преимущества стохастической модуляции, заключающиеся в повышении надёжности и общей эффективности системы. Также предложена и обоснована реализация шестипозиционного регулятора момента, что улучшает стабильность потокосцепления статора и снижает частоту переключений транзисторов.

Публикации в прочих изданиях:

5. Nguyen, T.H. Analysis of the impact of Autonomous Inverter Control Algorithms on the Battery and Motor (Анализ влияния алгоритмов управления автономным инвертором на аккумулятор и двигатель) / Nguyen, T.H., Vasilev B.Y // International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation. 2022. pp. 649-654. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896280.

Соискателем проанализировано влияние литий-ионных аккумуляторов на развитие электрических транспортах в горнодобывающей промышленности, выделены их преимущества и отмечена важность технологии быстрой зарядки. Определена основная задача исследования – повышение энергоэффективности аккумуляторных батарей и эксплуатационных характеристик асинхронного двигателя. Рассмотрены и сравнены три алгоритма управления инвертором для оценки их влияния на эффективность работы системы. Разработаны имитационные модели этих алгоритмов в среде Matlab/Simulink и проведён сравнительный анализ их эффективности.

6. Нгуен Т.Х. Анализ системы прямого управления моментом на основе трехуровневого автономного инвертора с фиксированной нейтральной точкой // Сборник тезисов докладов XXV Международная молодёжная научная конференция «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2024». 2024. с. 34-36.

Соискателем проанализированы варианты повышения энергетической эффективности электроприводов электротехнических комплексов в горнодобывающей промышленности, выделен переход от нерегулируемых электрических приводов к регулируемым с применением модуляционной системы управления преобразователем частоты и двигательной системы управления асинхронным двигателем. Разработан метод управления на базе трёхуровневого инвертора с фиксированной нейтральной точкой и таблицы переключений напряжения.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

7. Патент на изобретение № 2808304 Российская Федерация, СПК В60L 50/51 (2019.01) В60L 50/60 (2019.01) В60L 15/20 (2006.01). Система электродвижения автономных шахтных горно-транспортных средств. Заявка № 2023110528: заявл. 25.04.2023: опубл. 28.11.2023, Бюл. № 34 / Васильев Б.Ю., **Нгуен Т.Х.**; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 9 с., ил.

Соискателем проанализированы системы электроприводов электротехнических комплексов в горнодобывающей промышленности и предложена система электродвижения автономных шахтных горно-транспортных средств с двумя симметричными бортами, каждый из которых оснащён двумя асинхронными двигателями. Технический результат выражается в улучшении качества выходного напряжения, что способствует повышению производительности электродвижения.

8. Патент на изобретение № 2821420 Российская Федерация, СПК H02P 21/12 (2024.01). Устройство прямого управления моментом асинхронного двигателя на основе трехфазного трехуровневого автономного инвертора NPC. Заявка № 2023135524 : заявл. 27.12.2023 : опубл. 24.06.2024, Бюл. № 18 / Васильев Б.Ю., **Нгуен Т.Х.**; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 10 с., ил.

Соискателем проанализировано и предложено устройство прямого управления моментом асинхронного двигателя на базе трёхфазного трёхуровневого инвертора с фиксированной нейтральной точкой. Рассмотрена система управления, применяющая метод прямого управления моментом, что значительно повышает точность и скорость реакции системы. Технический

результат заключается в улучшении точности и быстродействия управления моментом асинхронного двигателя.

Апробация работы проведена на проведена на 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе 3 международных:

- на Международной научно-технической конференции «Автоматизация (RusAutoCon-2022)» (г. Сочи, 2022 г.);

- на VIII Международной конференции «Management, Economics, Ethics, Technics - MEET-2022» (г. Санкт-Петербург, 2022 г.);

- на научной конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (г. Санкт-Петербург, 2023 г.);

- на XXV Международной молодёжной научной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2024» (г. Ухта, Республика Коми, 2024 г.).

В диссертации Нгуен Тхе Хиен отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: главного научного сотрудника, заведующего лабораторией Адаптивное и интеллектуальное управление сетевыми и распределёнными системами (АдИн), ИПМ РАН, д.т.н., профессора **И.Б. Фургата**; заведующего кафедрой «Электротехника и электрооборудование», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», к.т.н., доцента **К.М. Сидорова**; руководителя проектного блока ООО "Берингугольинвест", к.т.н. **Н.М. Безносенко**; заведующего кафедрой «Диагностика и управление техническим состоянием энергетического оборудования»; ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации», к.т.н. **А.А. Пугачева**; генерального директора ООО «Академия КЭТ» **В.В. Никитина** и технический директор, к.т.н. **К.В. Бабыря**.

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 отмечен ряд замечаний:

1. В автореферате не нашло отражение технико-экономическое обоснование эффективности внедрения разработанной системы электродвижения и способа ее управления, демонстрирующее снижение эксплуатационных затрат; (к.т.н. К.М. Сидоров);

2. Автором разработана эквивалентная схема автоматизированного асинхронного привода в программной среде имитационного моделирования,

которая в автореферате не представлена, что затрудняет оценку полученного результата на основании изучения только лишь автореферата (к.т.н. К.М. Сидоров);

3. Подписуночная подпись рисунка 10 имеет ошибочные буквенные указания на соответствующие части этого рисунка (к.т.н. К.М. Сидоров);

4. В тексте автореферата присутствуют редакционные неточности. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертации и их компетентностью в области диссертационного исследования (к.т.н. Н.М. Безносенко);

5. Насколько устойчиво поведение системы при изменениях внешних условий, в частности, температурных и нагрузочных характеристик? Возможны ли нестабильные режимы при реализации стохастической модуляции? (к.т.н. Н.М. Безносенко);

6. Были ли определены допустимые пределы отклонения при варьировании параметров среды, и проводилась ли экспериментальная верификация предложенных моделей на физических установках? (к.т.н. А.А. Пугачев);

7. Несмотря на содержательную насыщенность, раздел «Выводы и рекомендации» содержит стилистические и языковые неточности, а также отдельные грамматические ошибки (например: «электрические оборудования», «улучшило энергетической и динамической характеристик», «блока релейных регуляторов»), что негативно влияет на читаемость текста. Кроме того, формулировки отдельных выводов требуют уточнения. В частности, в выводах 4 и 5, посвящённых реализации системы прямого управления, недостаточно подробно раскрыты такие важные компоненты, как «ядро СПУ» и «таблица переключения напряжения». Отсутствие конкретных количественных результатов или сравнительного анализа снижает убедительность и обоснованность этих положений (к.т.н. А.А. Пугачев);

8. Хотелось бы видеть более подробное описание методики имитационного моделирования – в частности, характеристик модели, условий проведения экспериментов и параметров, что улучшит прозрачность и воспроизводимость результатов (к.т.н. К.В. Бабырь);

9. Представленные выводы выиграли бы от дополнения количественными данными, например, конкретными величинами снижения амплитуд гармоник и уменьшения количества переключений транзисторов (к.т.н. К.В. Бабырь).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

определены факторы, влияющие на динамические и энергетические характеристики электроприводов в системе электродвижения современного горнотранспортного оборудования;

разработан алгоритм стохастической модуляции со стабилизированным диапазоном изменения частоты коммутации инвертора в преобразователях частоты для минимизации негативного влияния на динамические и энергетические характеристики асинхронного электропривода;

разработан алгоритм двигательной системы управления и проведено исследование его влияния на характеристики асинхронного двигателя, включая частоту вращения, потокосцепление статора, момент, КПД асинхронного электропривода, а также среднюю частоту переключения транзисторов инвертора;

предложена структура асинхронного электропривода в системе электродвижения современного горнотранспортного оборудования с применением разработанных алгоритмов модуляционной и двигательной систем управления;

доказана эффективность применения предложенной структуры асинхронного электропривода с разработанными алгоритмами модуляционной и двигательной систем управления;

введены зависимости границ изменения частоты коммутации инвертора преобразователя частоты электропривода и зон нечувствительности шестипозиционного релейного регулятора момента системы прямого управления.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработана математическая модель асинхронного электропривода с трехуровневым инвертором, алгоритмами стохастической модуляции со стабилизированным диапазоном изменения частоты коммутации инвертора шестипозиционного релейного регулятора момента системы прямого управления;

определены границы частоты коммутации инвертора, обеспечивающие эффективное устранение пакетов высших гармонических составляющих в спектре выходных напряжений и токах преобразователя частоты;

установлена зависимость базовых активных векторов выходного напряжения с регулируемыми переменными в качественной форме для синтеза системы прямого управления на базе трехуровневого инвертора, позволяющая уменьшить высокочастотные колебания момента и потокосцепления статора с повышением КПД асинхронного электропривода;

доказана эффективность применения разработанного алгоритма стохастической модуляции при повышении эффективности преобразования энергии в трехуровневом инверторе и его электромагнитной совместимости с асинхронным двигателем.

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

разработаны и внедрены в деятельность ПАО «Viettel» (Вьетнам) система электродвижения горно-транспортных оборудования (подтверждена выдачей патента на изобретение № 2808304) и устройство прямого управления моментом

асинхронного двигателя на основе трехфазного трехуровневого инвертора с фиксированной нейтральной точкой (подтверждено выдачей патента на изобретение № 2821420);

определены уровни снижения коэффициента искажения тока при различных нагрузках, повышения КПД асинхронного электропривода на 2%, уменьшения средней частоты коммутации инвертора преобразователя частоты на 15% в переходных режимах и на 2% в установившихся;

создана компьютерная имитационная модель асинхронного электропривода с трехуровневым инвертором, алгоритмами стохастической модуляции со стабилизированным диапазоном изменения частоты коммутации инвертора и шестипозиционного релейного регулятора момента системы прямого управления;

представлены методика технико-экономического обоснования усовершенствованной системы электродвижения горно-транспортного оборудования, разработанной в диссертации, и способы развития и практического внедрения предложенных алгоритмов, направленных на повышение эксплуатационных характеристик асинхронного электропривода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

теория построена на современных исследованиях в области автоматизированных электроприводов, включая асинхронные, которым посвящены актуальные публикации авторитетных учёных, и согласуется с опубликованными научными трудами по теме диссертационной работы;

идея базируется на взаимном влиянии зон нечувствительности шестипозиционного релейного регулятора момента системы прямого управления и границ изменения частот коммутации инвертора со стохастической модуляцией, выбор оптимальных значений которых обеспечивает увеличение показателей динамических и энергетических характеристик асинхронных электроприводов;

установлено соответствие полученных результатов поставленной цели исследования, а также отсутствие противоречий между выводами и рекомендациями соискателя и положениями теоретико-методологической базы, относящейся к теме диссертационной работы;

использованы теоретический аппарат обобщённой электрической машины, современные методы управления и теория электроприводов, методы имитационного моделирования с численным решением систем дифференциальных уравнений, а также подходы к оценке характеристик электромагнитной совместимости асинхронного двигателя и инвертора.

Личный вклад соискателя состоит в разработке компьютерной модели для анализа влияния различных алгоритмов в модуляционной системе управления инвертором преобразователей частоты на показатели электромагнитной совместимости трехуровневого инвертора и асинхронного двигателя; а также в

разработке двигательной системы управления на основе системы прямого управления с усовершенствованными алгоритмами управления преобразователем, обеспечивающей снижение динамических энергетических потерь и повышение КПД асинхронного электропривода.

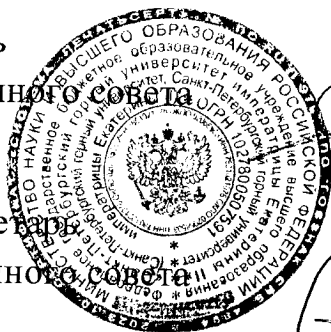
В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Нгуен Тхе Хиен ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании диссертационного совета, состоявшемся 4 июля 2025 года, было принято решение о присуждении **Нгуен Тхе Хиен** учёной степени кандидата технических наук за решение научно-технической задачи, направленной на повышение динамических и энергетических характеристик асинхронного электропривода, которое имеет значительное значение для обеспечения устойчивого развития горнодобывающей промышленности Вьетнама.

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

Председатель
диссертационного совета



[Handwritten signature of Nazarychev Alexander Nikolaevich]

Назарычев
Александр Николаевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

[Handwritten signature of Denis Anatolyevich Ustinov]

Устинов
Денис Анатольевич

04.07.2025 г.