

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.06.2021 г. № 5

О присуждении **Ле Ван Тунг**, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структура и алгоритмы управления электроприводом конвейеров для повышения энергоэффективности их работы на горнодобывающих предприятиях» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 22.04.2021 г., протокол заседания № 2, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2; приказ № 1232 адм от 23.09.2019 г. с изм. от 22.12.2020 г.

Соискатель, **Ле Ван Тунг**, 1987 года рождения, в 2013 г. окончил Магистратуру Университета Тхайнгуен, Тхайнгуен, Социалистическая Республика Вьетнам, по специальности: Техника при управлении и Автоматизация.

С 2017 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры электроэнергетики и электромеханики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Справка о сданных кандидатских экзаменах № 11/6 выдана 22 января 2021 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Козярук Анатолий Евтихиевич**, федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра электроэнергетики и электромеханики, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Саушев Александр Васильевич – доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», кафедра электропривода и электрооборудования береговых установок, заведующий кафедрой;

Воронцов Алексей Геннадьевич – кандидат технических наук, ООО «Научно-производственный центр «Судовые электротехнические системы», отдел преобразовательной техники, начальник дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Королевым Виталием Вячеславовичем, к.т.н., доцентом, заместителем заведующего кафедрой робототехники и автоматизации производственных систем и Козловой Людмилой Петровной, к.т.н., доцентом той же кафедры, секретарем заседания и утвержденным Тупиком Виктором Анатольевичем д.т.н., профессором, проректором по научной работе, указала, что в диссертационной работе разработана структура электропривода конвейеров с многоинверторным преобразователем частоты с общим активным выпрямителем, позволяющая обеспечивать высокие показатели энергетической эффективности, в частности, обеспечить близким к единице коэффициентом мощности и форму входного тока и напряжения высокого качества.

Соискатель имеет 8 печатных работ, в том числе 3 статьи - 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), 4 статьи - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 3,32 печатных листа, в том числе 2,04 печатных листа – соискателя.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Васильев, Б. Ю. Косвенные системы модуляции матричных преобразователей частоты [Текст] / Б. Ю. Васильев, В. Т. Ле // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – № 2. – С. 26-33.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в проведении исследования и имитационного моделирования метода косвенной пространственной векторной модуляции преобразователя частоты.

2. Ле, В. Т. Модуляционная система управления матричным преобразователем на основе прямого метода регулирования [Текст] / В. Т. Ле, Б. Ю. Васильев, Т. Н. Буй // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – № 1. – С. 19-23.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в проведении исследования и имитационного моделирования метода прямой пространственной векторной модуляции преобразователя частоты на основе прямого управления.

3. Ле, В. Т. Исследование прямого управления мощностью преобразователя частоты со многими двигателями с использованием прямого управления моментом [Текст] / В. Т. Ле, Ч. Т. До // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2020. – № 2. – С. 35-44.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в проведении исследования и имитационного моделирования прямого управления мощностью преобразователя частоты со многими двигателями с использованием прямого управления моментом.

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

4. Vasilev, B. Y. Research on the switching algorithm of voltage vectors in the direct torque control system [Текст] / B. Y. Vasilev, V. T. Le, I. Daysons. – DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501779 // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – 2018.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в разработке алгоритма прямого управления моментом асинхронного двигателя.

5. Vasilev, B. Y. Research methods of V/F control for matrix converter use direct space vector modulation [Текст] / B. Y. Vasilev, V. T. Le // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2019. – №. 6. – P. 5115-5124.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в проведении исследования метода прямой пространственной векторной модуляции преобразователя частоты в системе электропривода на базе асинхронного двигателя.

6. Le, V. T. Compare the efficiency of the active filter and active rectifier to reduce harmonics and compensate the reactive power in frequency controlled electric drive systems [Текст] / V. T. Le, T. L. Pham, V. A. Ngo, B. Y. Vasilev. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-64719-3_28 // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – №. 178. – P. 242-253.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в разработке методики сравнение эффективности активного фильтра и активного выпрямителя для улучшения качества источника питания в системе частотно-регулируемого электропривода.

7. Kozyaruk, A. E. Improving the torque direct control method of the asynchronous motor in the converter using the active rectifier [Текст] / A. E. Kozyaruk, V. T. Le, B. Y. Vasilev. – DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012025 // Journal of Physics: Conference Series. – 2021.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в разработке системы управления двигателем в системах с преобразователем частоты с активным выпрямителем.

Публикации в прочих изданиях:

8. Ковальчук, М. С. Системы управления электроприводом: Структура, развитие [Текст] / М. С. Ковальчук, А. Е. Козьярук, В. Т. Ле // Сборник Трудов Конференции Международной конференции по Автоматизированному Электроприводу (АЭП). Университет ИТМО, СПб. – 04-07 октября 2020. – С. 121-126.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в разработке системы управления электроприводом и создании эргатической системы на примере конвейерного транспорта.

Свидетельство регистрации программы для ЭВМ:

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2020616020. Программа для выбора оптимального вектора управляющего напряжения в методе прямого управления мощностью и прямого управления моментом двигателя на преобразователе частоты / Б. Ю. Василев, В. Т. Ле, правообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2020614438; опубл. 08.06.2020, Бюллетень № 6.

Личный вклад соискателя диссертации заключался в разработке программы для выбора оптимального вектора управляющего напряжения в методе прямого управления мощностью и прямого управления моментом двигателя в схеме привода с преобразователем частоты.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

1. Международная научно-техническая конференция «Автоматизация» (RusAutoCon–2018), Сочи, Россия, 2018.

2. XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», Санкт–Петербург, Россия, 2020.

3. VII Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME –2020». Санкт-Петербург, Россия, 2020.

4. Международная конференция по автоматизированному электроприводу (АЭП –2020), Санкт-Петербург, Россия, 2020.

5. III Международная конференция по инженерным исследованиям и приложениям (ICERA – 2020), Thai Nguyen, Viet Nam, 2020.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: ведущего специалиста исследовательского отдела АО «СПИК СЗМА» к.т.н. **И.С. Бабановой**; заведующего кафедрой «Автоматизированный электропривод» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», д.т.н., профессора **М.А. Григорьева** и доцента той же кафедры к.т.н. **Д.А. Сычева**; ведущего эксперта отдела проектирования электропривода и комплектных устройств АО «Силовые машины», д.т.н. **М.В. Пронина**; профессора кафедры теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д.т.н. **М.С. Ершова**, доцента той же кафедры к.т.н. **В.В. Дмитриева** и заведующего той же кафедры к.т.н., доцента **А.Н. Комкова**; заведующего кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», к.т.н. доцента **А.В. Костылева** и профессора той же кафедры д.т.н. доцента **В.П. Метелькова**; профессора факультета систем управления и робототехники ФГАОУ ВО Национальный исследовательский университет ИТМО к.т.н. **В.С. Томасова**; профессора кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» д.т.н. **Ю.В. Шевырёва**; старшего научного сотрудника кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева» к.т.н. **Ф.С. Непши** и старшего преподавателя той же кафедры **В.А. Воронина**; профессора кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» «КнАГУ» д.т.н. **В.А. Словьева** и профессора кафедры «Промышленная электроника» д.т.н. **В.С. Климаша**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. Целесообразно пояснить параметры трансформаторов на представленной имитационной модели электропривода с использованием 12-пульсного выпрямителя согласно рисунку 4 (стр. 13). (**к.т.н. И.С. Бабанова**).
2. Какой рассматривался диапазон изменения скорости конвейера при оценке качества работы выпрямителя и инвертора ПЧ? В автореферате желательно было пояснить, какие рассматривались основные параметры магистральной конвейерной линии (стр. 10). (**к.т.н. И.С. Бабанова**).
3. Страница 9 автореферата. Уточните диапазон регулирования скорости электропривода конвейера в рамках рассматриваемых систем (**д.т.н. М.А. Григорьев и к.т.н. Д.А. Сычев**).
4. Можете ли Вы дать сравнительную количественную оценку по капитальным затратам на решения с активным выпрямителем и с активным фильтром ? (**д.т.н. М.А. Григорьев и к.т.н. Д.А. Сычев**).
5. Сопоставлялись ли рассматриваемые схемы по технико-экономическим показателям и рассчитывал ли автор срок окупаемости предлагаемых решений ? (**д.т.н. М.А. Григорьев и к.т.н. Д.А. Сычев**).
6. На стр.11 представлен рисунок 2, которой требует пояснений. Почему после разгона двигателей и выхода их на установившийся режим работы электромагнитный момент двигателей превышает момент при пуске? (**д.т.н. М.В. Пронин**).
7. Режимы работы привода конвейеров во многом определяются параметрами рабочего механизма. В этой связи модели конвейеров в

автореферате могли быть представлены полней (д.т.н. М.С. Ершов, к.т.н. В.В. Дмитриев и к.т.н. А.Н. Комков).

8. Из автореферата не ясно как сочетаются прямое управление мощностью активного выпрямителя с управлением моментом асинхронного двигателя (д.т.н. М.С. Ершов, к.т.н. В.В. Дмитриев и к.т.н. А.Н. Комков).

9. В автореферате констатируется, что «...Такое управление позволяет ограничить динамические нагрузки в электроприводе конвейера и исключить проскальзывание ленты на барабане при изменении условий работы конвейера». Однако, из материалов автореферата неясно – какая математическая модель механической части конвейера использовалась в исследованиях, а от особенностей модели механической части в данном случае существенно зависит и обоснованность выводов (к.т.н. А.В. Костылев, д.т.н. В.П. Метелькова).

10. Рассматривалась ли возможность использования варианта реализации DTC-SVM с предиктивным управлением, что позволяет обойтись без таблицы переключения ключей? (к.т.н. А.В. Костылев, д.т.н. В.П. Метелькова).

11. В тексте автореферата используется неудачная формулировка "многоинверторные преобразователи частоты", по той причине, что под инвертором в силовой электронике уже подразумевается преобразователь электрической энергии постоянного тока в электрическую энергию переменного тока (к.т.н. В.С. Томасов).

12. Рассматриваемая в диссертации структурная схема: "ABH - общее звено постоянного тока-3 исполнительных двигателя" не является принципиально новой, подобные решения уже используются фирмами-производителями серийных комплектных приводов для станкостроения и других отраслей. Так, например, в группе фрезерных станков (см. N. A. Polikov, V. S. Ulin, "Power density analysis of machine tool power converter" 2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 17 ECCE Europe), 2017,

pp. P1-9, doi: 10.23919/EPE17ESCSEurope.2017.8099199) (к.т.н. **В.С. Томасов**).

13. В автореферате, несмотря на наличие 6 различных таблиц переключений ключей, ни для одной из них не приведены принципы, обуславливающие формирование векторов. Охватывают ли эти 6 таблиц все возможные комбинации переключений? Будет ли полученный результат для ТПК2 справедлив для иных систем кроме рассматриваемой? (к.т.н. **В.С. Томасов**).

14. На рисунках 7 и 8 автореферата характеристики ТНД приведены в разном масштабе, что затрудняет анализ полученных результатов (к.т.н. **В.С. Томасов**).

15. Не указаны параметры питающей электрической сети, в частности мощность короткого замыкания и её сравнение с мощностью электроприводов конвейера (д.т.н. **Ю.В. Шевырёв**).

16. Отсутствует сравнение суммарного коэффициента гармонических составляющих тока с допустимыми значениями (д.т.н. **Ю.В. Шевырёв**).

17. Не ясно, каким образом производилось измерение коэффициента мощности (страница 13 автореферата)? (к.т.н. **Ф.С. Непша**).

18. Следует пояснить экономическую целесообразность применения предложенного метода по сравнению с вариантами ограничения высших гармоник с помощью использования дросселей, 12-пульсных выпрямителей, активного фильтра (к.т.н. **Ф.С. Непша**).

19. В работе решается задача повышения энергоэффективности комплекса частотно-регулируемых электроприводов конвейеров путем использования специальных алгоритмов управления мощностью активного выпрямителя, и почему-то не проведена оценка коэффициента полезного действия рассматриваемой системы? (д.т.н. **В.А. Соловьев** и д.т.н. **В.С. Климаш**).

20. Из автореферат не понятно из каких условий (режимов работы) составлялись, приведенные на рисунках 7 и 8 таблицы переключений, на основании которых осуществлялся выбор наиболее эффективного вектора управляющего напряжения? (д.т.н. **В.А. Соловьев** и д.т.н. **В.С. Климаш**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны варианты модернизации электропривода конвейеров, позволяющие повысить энергоэффективность преобразователей частоты с активным выпрямителем;

предложена новая структурная схема, которая представляет собой многодвигательную систему электропривода конвейера с частотным преобразователем, состоящим из активного выпрямителя и нескольких инверторов напряжения;

доказана возможность обеспечения высокого качества управления скоростью и моментом двигателей системы электропривода конвейеров, снижение высших гармонических составляющих тока.

введен новый метод для оптимизации прямого управления мощностью выпрямителя в целях обеспечения высокого коэффициента мощности и низких гармонических искажений тока сети в системе электропривода конвейеров.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

использованы методы фазовых преобразований, теории электропривода, теории автоматического управления, математического моделирования и анализа электромагнитных процессов в электротехнических комплексах и системах;

доказано положение, что использование активного выпрямителя напряжения с прямым управлением мощностью в системе электропривода конвейеров обеспечивает повышение энергетической эффективности, обеспечивающей коэффициент мощности, близкий к единице и близкий к синусоидальной форме входной ток и напряжение;

раскрыты существенные положения теории и структурной схемы преобразования частоты с активным выпрямителем, применительно к электроприводу конвейеров на горнодобывающих предприятиях;

проведена модернизация имитационной модели электропривода конвейеров, позволяющая оценить энергетическую эффективность предложенного технического решения.

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

разработан способ управления активным выпрямителем в составе электропривода конвейера, обеспечивающий высокие показатели энергетической эффективности на горнодобывающих предприятиях.

определены перспективы практического использования современных полупроводниковых устройств в электротехнических комплексах горнодобывающих предприятий;

создана система практических рекомендаций по модернизации электропривода конвейера на горнодобывающих предприятиях;

представлены рекомендации к внедрению результатов исследования в учебный процесс;

представлены рекомендации к внедрению результатов исследования на этапе проектирования и модернизации систем электропривода конвейерного транспорта в угольной шахте Маохе Вьетнама.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты исследований получены с применением методов математического и имитационного моделирования в программе Matlab и Simulink для моделирования работы электропривода конвейеров на горнодобывающих предприятиях;

теория построена на известных закономерностях и проверяемых данных и фактах и согласуется с опубликованными ранее экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации;

идея базируется на результатах анализа и обобщения опыта по разработке и применению многоинверторных преобразователей частоты с общим активным выпрямителем и системой прямого управления мощностью для регулирования коэффициента мощности многодвигательного электропривода;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в трудах отечественных и зарубежных ученых по тематике диссертационного исследования;

использованы результаты отечественного и зарубежного опыта по исследованию системы электропривода конвейеров.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке цели и задач исследования; анализе зарубежной и отечественной научно-технической литературы; прямом сборе исходных данных и анализ систем электропривода конвейеров на горнодобывающих предприятиях в Российской Федерации и Вьетнаме; создании имитационных моделей систем электропривода конвейеров, помогающих оценить энергоэффективность, электромагнитную совместимость; обобщении и обработке экспериментальных данных;

формулировке основных научных положений и выводов, а также в подготовке текстов научных публикаций и диссертации.

На заседании 25 июня 2021 года диссертационный совет принял решение присудить **Ле Ван Тунг** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи повышения энергоэффективности работы системы электропривода конвейеров на горнодобывающих предприятиях.

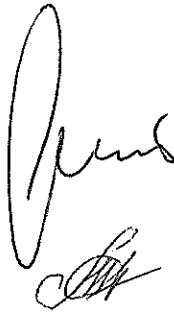
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

25.06.2021 г.





Шпенст Вадим Анатольевич

 Коптева Александра Владимировна