

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.04, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 16 сентября 2022 протокол № 7

О присуждении Домахину Евгению Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Алгоритмы управления высоковольтным асинхронным электроприводом с функцией безударного переключения нагрузки на питающую сеть» по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 4 июля 2022 г., протокол № 16, диссертационным советом Д 212.173.04, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №105/нк от 11.04.2012 г.

**Соискатель** Домахин Евгений Александрович, «11» декабря 1993 года рождения. В 2018 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, получив степень магистра техники и технологии по направлению 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника». В 2022 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, с присвоением квалификации



«Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению 13.06.01 «Электро- и теплотехника» (профиль: «Электротехнические комплексы и системы»). Работает ассистентом кафедры «Электропривода и автоматизации промышленных установок» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Электропривода и автоматизации промышленных установок» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – кандидат технических наук, доцент Котин Денис Алексеевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, кафедра «Электропривода и автоматизации промышленных установок», заведующий кафедрой.

**Официальные оппоненты:**

**Пупин Валерий Михайлович**, доктор технических наук, доцент, администрация управляющий проектами ООО «НПК Промир», г. Москва;

**Тутаев Геннадий Михайлович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроники и электротехники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»), г. Саранск;

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск, в своем положительном заключении, подписанном Бубновым Алексеем Владимировичем доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Электрическая техника», Татевосяном Андреем Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Электрическая техника» и утвержденном Фефеловым Василием Федоровичем, кандидатом химических наук,



доцентом, проректором по научной и инновационной деятельности **указала, что** «Задачи, рассмотренные в диссертационной работе являются актуальными. Предложены алгоритмы безударного переключения высоковольтного электропривода на промышленную сеть, основанные на идентификации параметров напряжения. Алгоритмы переключения могут быть реализованы в устройствах быстродействующего автоматического ввода резерва. Практическая реализация разработанных алгоритмов возможна в следующих областях: производство высоковольтного электропривода на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Указанные замечания не снижают научной ценности представленной диссертации в целом. Диссертация Домахина Евгения Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-исследовательской работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а также требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Уровень и количество публикаций автора, отражающих основные полученные результаты соответствуют пунктам 11 и 13 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842. Работа аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация Домахина Евгения Александровича «Алгоритмы управления высоковольтным асинхронным электроприводом с функцией безударного переключения нагрузки на питающую сеть», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» является завершенной научно-квалификационной работой. Новые научные результаты, полученные соискателем, имеют существенное значение в развитие страны. Работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», принятого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а Домахин Евгений



Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»»

Соискатель имеет 36 опубликованных работ, в том числе 14 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 3 опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, 1 публикация отмечена в наукометрических системах «Web of Science» и «Scopus», 9 публикаций в прочих изданиях (в том числе в материалах международных и всероссийских конференций). Так же автором получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ. Авторский вклад в опубликованных работах составляет не менее 50%. Общим объемом – 5,19 п.л. Недостоверные сведения в диссертации и опубликованных работах отсутствуют.

#### **Наиболее значимые работы по теме диссертации:**

1. Червоненко А.П., Котин Д.А., Домахин Е.А. Безударный перевод нагрузки с основной сети на резервную с применением быстродействующего автоматического ввода резерва // *Электротехника*. – 2022. – №5. – С. 18-23;

2. Котин Д.А., Домахин Е.А. Алгоритм синхронизации для безударного переключения асинхронного двигателя между преобразователем частоты и питающей сетью// *Электротехника* – 2021. – №6. – С. 25-31. Переводная версия: Domakhin E. A., Kotin D. A. Synchronization algorithm for soft switching of an induction motor between a frequency converter and supply network // *Russian Electrical Engineering*. - 2021. - Vol. 92, iss. 6. - p. 314–319. – DOI: 10.3103/S1068371221060067;

3. Ленёв С.Н., Охлопков А.В., Гужавина В.В., Нестеренко Г.Б., Армеев Д.В., Домахин Е.А., Зырянов В.М., Котин Д. А. Универсальное устройство компенсации провалов и прерываний напряжения для обеспечения надежной работы электроприемников ПАО «Мосэнерго» // *Электрические станции*. – 2020. – №11. – С. 14-24. Переводная версия: Lenev S.N., Okhlupkov A.V., Guzhavina V.V, Nesterenko G.B., Armeev D.V., Domakhin E.A., Zyryanov V.M., Kotin D.A. Universal voltage dip and interruption compensator for reliable operation of critical electrical installations at PJSC Mosenergo // *Power Technology and Engineering*. – 2021. – Vol. 55, iss. 1. – p. 116–125. – DOI 10.1007/s10749-021-01329-9;

4. Domakhin E. A., Kotin D. A. Developing electric drive with adaptive algorithm for soft switching between frequency converter and three-phase mains // 17 International Ural conference on AC electric drives (ACED), Ural Federal University named after the first



president of Russia B.N. Yeltsin: [proc.], Ekaterinburg, 26–30 March 2018. – IEEE, 2018. – 5 p. – DOI: 10.1109/ACED.2018.8341694;

5. Домахин Е. А., Котин Д. А., Попов Н. С. Алгоритм синхронизации напряжений многоуровневого преобразователя частоты и высоковольтной питающей // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем (ДНДС–2021): материалы 14 Всерос. науч.-техн. конф., Чебоксары, 2021. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – С. 232–234;

6. Domakhin E. A., Kotin D. A., Kitova E. T. Electric drive with multilevel converter for ESP system // *Aspire to Science*: материалы междунар. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Новосибирск, 18 апр. 2019 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – С. 56–60;

7. Домахин Е. А., Котин Д. А. Разработка адаптивного алгоритма для обеспечения синхронизации напряжений преобразователя частоты и сети // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем (ДНДС-2019) : материалы 13 Всерос. науч.-тех. конф., Чебоксары, 7 июня 2019 г. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – С. 221-222;

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022617251 Российская Федерация. Программа расчета управляющего воздействия для выполнения безударного переключения высоковольтных асинхронных двигателей между преобразователем частоты и питающей сетью. / Д.А. Котин, Е.А. Домахин; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». - № 2022617251; заявл. 19.04.2022; опубл. 19.04.2022. – 1 с.

**На диссертацию и автореферат поступили 6 отзывов, все положительные:**

1. Отзыв кандидата технических наук, доцента кафедры Робототехники и автоматизации производственных систем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)» **Самохвалова Д. В.** – замечания связаны с актуальностью работ ученых, на которых приводится ссылка, а также связаны с методологией цели диссертации и формулировке ее задач, а также замечания касаются различия в понятиях алгоритмов, методов и способов.



2. Отзыв научного сотрудника Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» **Муравьёва А.В.**, кандидата технических наук, доцента, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» **Савушкина С.С.** – замечания касаются сокращений, применяемых в автореферате диссертации, затрудняющих его чтение, также замечания связаны с краткостью рассмотрения отдельных вопросов.

3. Отзыв доктора технических наук, профессора, профессора отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», **Однокопылова Г.И.** – замечания связаны с допущениями математической модели для исследования, а также погрешностью от неучета допущений в таблице 1, также замечанию касаются экспериментальной проверки эффективности разработанных алгоритмов, при выполнении переключения нагрузки на питающую сеть.

4. Отзыв доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроэнергетические системы атомных станций» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» **Завьялова В.М.** – замечания связаны с вопросами работы алгоритма в случае невыполнения условий безударного переключения и о том, какие это повлечет последствия для технологического процесса в случае останова электродвигателя, касаются вопросов аппаратной реализации предлагаемых алгоритмов и возможных трудностей при программно-аппаратном переоснащении уже эксплуатируемого промышленного оборудования.

5. Отзыв доктора технических наук, профессора, заведующей кафедрой «Электротехника и автоматизированный электропривод» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» **Халиной Т.М.** – замечания касаются возможных областей применения алгоритмов безударного переключения на базе быстродействующего автоматического ввода резерва, а также возможности применения разработанных алгоритмов для высоковольтного



электропривода по двухтрансформаторной схеме и модификаций, которые потребуются для этого.

6. Отзыв кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры Электроснабжения и электротехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского **Черных А.Г.** – замечания связаны с корректностью системы уравнений (1), поскольку в автореферате не приведена полная система уравнений исследуемого высоковольтного электропривода, а также связаны с тем, каким образом изменится топология преобразователя при изменении питающего напряжения, также замечания касаются степени подтверждения теоретических результатов работы физическим экспериментом.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** известностью, наличием достижений в областях силовой электроники, автоматизированных систем управления, электропривода, высокой компетентностью в сфере, связанной с исследованиями и разработкой систем управления электромеханическими системами, наличием публикаций в указанной области, а также возможностью дать научную оценку диссертационной работе. **Пупин Валерий Михайлович** – доктор технических наук, является крупным специалистом в области математического моделирования процессов и синтеза высококачественных электротехнических и электромеханических систем переменного тока, включая методы, средства и алгоритмы обеспечения их динамической устойчивости. Имеет большое количество публикаций по темам близким к диссертационной работе. **Тутаев Геннадий Михайлович** – доктор технических наук, крупный специалист в сфере электромеханических систем на основе применения двигателей переменного тока с реализацией требуемых законов регулирования и управления посредством использования статических силовых полупроводниковых преобразователей частоты с микропроцессорными системами управления. **ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет»** является одним из ведущих учебных заведений Российской Федерации по тематике диссертационного исследования соискателя, в котором на кафедре «Электроники и электротехники» активно занимаются научно-прикладными задачами управления силовыми



полупроводниковыми преобразователями и частотно-регулируемым электроприводом переменного тока, а также подготовкой специалистов по данному направлению.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** алгоритмы безударного переключения нагрузки между источниками питания, которые обеспечивают не превышение уравнивающего тока величины 130% от номинального значения, для применения в общепромышленном электроприводе переменного тока с вентиляторным характером нагрузки на валу;

**предложены** оригинальные критерии необходимости установки силовых фильтров на выход высоковольтного частотно-регулируемого асинхронного ЭП совместно с практическими рекомендациями по выбору топологии силового фильтра, а также предельных значениях частоты коммутации силовых полупроводниковых транзисторов многоуровневого инвертора;

**доказана** перспективность применения алгоритмов безударного переключения, обеспечивающих бесперебойную работу технологических установок с выполнением синхронизации выходного напряжения многоуровневого ПЧ на базе подсистем идентификации параметров напряжения с применением подходов фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), его модификаций и расширенного фильтра Калмана, который реализован в структуре алгоритмов управления частотно-регулируемым асинхронным электроприводом;

**введено** новое понятие «безударное переключение с перекрытием».

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** негативное влияние наличия несинусоидальных и несимметричных искажений формы напряжения питающей сети на работу алгоритмов идентификации параметров вектора входного напряжения;

**применительно к проблематике диссертации эффективно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** преобразования Фурье, преобразования Парка-Горева, теория обобщенной электрической машины, теория обобщенного вектора, метод гармонического анализа, методы численного и имитационного моделирования, элементы линейной алгебры;



**изложены** положения, направленные на разработку систем скалярного управления высоковольтными асинхронными электроприводами с функцией безударного переключения;

**раскрыто** проблема уменьшения статической точности алгоритмов идентификации параметров вектора входного напряжения в условиях наличия несинусоидальных и несимметричных искажений его формы;

**изучены** зависимости показателей качества работы алгоритмов идентификации параметров вектора входного напряжения при наличии несимметричных искажений формы напряжения питающей сети, величина которых строго согласована с ГОСТ 32144-2013 и ГОСТ Р 51317.2.4-2000 (МЭК 61000-2-4-94);

**проведена модернизация** структуры системы управления частотно-регулируемого (скалярного) высоковольтного электропривода с функцией безударного переключения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором с выполнением предварительной синхронизации и переключения с перекрытием, которая обеспечивает превышение величины тока асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором не более 30% от номинального значения.

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

**разработаны и внедрены** методики структурно-параметрического синтеза и результаты исследований алгоритмов безударного переключения нагрузки между преобразователем частоты и питающей сетью с применением алгоритмов идентификации параметров на базе подходов фазовой автоподстройки частоты, его модификаций и расширенного фильтра Калмана в рамках работ НГТУ совместно с ООО «Сибирь-Мехатроника», ООО «Системы накопления энергии», а также в учебном процессе НГТУ;

**определены** перспективы дальнейшего практического использования результатов диссертационного исследования для высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с вентиляторным характером нагрузки в виде рекомендаций, методик, математических и имитационных моделей, алгоритмов безударного переключения нагрузки, обеспечивающих бесперебойную работу технологических установок, что повысит энергетическую эффективность, а также надежность применения данных систем;



**создана** система практических рекомендаций по применению разработанных алгоритмов идентификации параметров вектора входного напряжения, а также алгоритмов синхронизации для высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с вентиляторным характером нагрузки;

**представлены** рекомендации по применению алгоритмов безударного переключения для высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с вентиляторным характером нагрузки.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** показана воспроизводимость результатов исследования с ранее известными результатами оценок величин, характеризующих эффективность выполнения перевода нагрузки между выходом преобразователей частоты и питающей сетью;

**теория** построена на известных, проверяемых данных, и согласуется с авторскими и опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, а также на известных положениях математического анализа и основ электротехники;

**идея базируется** на анализе и обобщении результатов применения алгоритмов и подходов безударного переключения в составе высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с вентиляторным характером нагрузки, у которых в качестве первичного источника питания выступают многоуровневые преобразователи частоты и высоковольтная питающая сеть, а также на передовом опыте исследований алгоритмов идентификации параметров вектора входного напряжения;

**использованы** сравнения авторских данных, полученных с применением разработанных имитационных моделей, с ранее известными результатами оценок величин, характеризующих эффективность выполнения перевода нагрузки между выходом преобразователей частоты и питающей сетью в составе высоковольтных электроприводов;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором с использованием разработанных математических моделей и имитационных моделей с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, что даст основание полагать разработанные математические и имитационные модели эффективными;



**использованы** современные методы сбора и обработки исходной информации, полученной в результате математического и имитационного моделирования.

**Личный вклад соискателя состоит в:** постановке частных задач на проведение диссертационного исследования; проведении всех этапов исследования; выполнении расчетов, поиске и разработке алгоритмов управления и методик их структурно-параметрического синтеза; синтезе имитационной модели; исследовании разработанных алгоритмов методом имитационного моделирования; анализе полученных результатов; подготовке публикаций, научных докладов и рукописи диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: название работы недостаточно полно отражает цель работы – разработка алгоритмов безударного переключения высоковольтных асинхронных электродвигателей между выходом высоковольтного преобразователя частоты и питающей сетью; при приведении статистических данных в работе необходимо вести учет тяговых электроприводов переменного тока, которые в большинстве случаев являются регулируемыми; в тяговых электроприводах переменного тока отсутствуют ударные нагрузки.

Соискатель Домахин Е.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: название диссертационной работы отражает решаемую задачу, которая состоит в разработке структуры системы управления и силовой схемы частотно-регулируемого электропривода, который обеспечивает безударный перевод высоковольтного асинхронного электродвигателя между выходом высоковольтного преобразователя частоты и питающей сетью, являющегося нагрузкой как для высоковольтного преобразователя частоты, так и для питающей сети; приведенные в работе статистические данные для доли регулируемых высоковольтных электроприводов учитывают не количественные показатели, а общее значение установленной мощности для регулируемых и нерегулируемых высоковольтных электроприводов; работа была посвящена исследованию высоковольтных электроприводов с вентиляторным характером нагрузки на валу приводного двигателя, режимы работы тяговых электроприводов не рассматривались.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для электротехнической отрасли, и соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней,



утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

На заседании 16 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические решения для высоковольтного асинхронного электропривода с функцией безударного переключения присудить Домахину Евгению Александровичу. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель  
диссертационного с

Анатолий Сергеевич Востриков

Ученый секретарь  
диссертационного с

Максим Александрович Дыбко

16 сентября 2022