

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.14, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10 октября 2023 г. № 2023-03

О присуждении Горожанкину Алексею Николаевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие теории синхронных реактивных и индукторных электрических машин» по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 30 июня 2023 г. (протокол заседания № 2023-02) диссертационным советом 24.2.437.14, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76; приказ № 507/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Горожанкин Алексей Николаевич, 22 ноября 1984 года рождения, в 2007 году окончил Южно-Уральский государственный университет по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических на тему: «Вентильный электропривод с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения» защитил в 2010 году в диссертационном совете, созданном на базе ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Ученое звание доцента по специальности «Электротехнические комплексы и системы» присвоено 31 декабря 2014 г. (аттестат ЗДЦ № 000910). В настоящее время работает заведующим кафедрой «Электрические станции, сети и системы электроснабжения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет

(национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Электропривод, мехатроника и электромеханика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Григорьев Максим Анатольевич, главный научный сотрудник научно-образовательного центра «Цифровая индустрия», заведующий кафедрой «Электропривод, мехатроника и электромеханика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Сарваров Анвар Сабулханович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированный электропривод и мехатроника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск;

2. Мещеряков Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электропривод» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк;

3. Хакимьянов Марат Ильгизович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, в своём положительном отзыве, подписанном профессором отделения электроэнергетики и электротехники, д.т.н., доцентом Глазыриным Александром Савельевичем, профессором отделения электроэнергетики и электротехники, д.т.н., доцентом Однокопыловым Георгием Ивановичем, доцентом

отделения электроэнергетики и электротехники, к.т.н., доцентом Кладиевым Сергеем Николаевичем и утверждённом к.ф.-м.н. Гоголевым А.С., и.о. проректора по науке и стратегическим проектам, указала, что диссертация Горожанкина Алексея Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой освещены вопросы проектирования синхронных реактивных и индукторных электрических машин для расширенных диапазонов скоростей и моментов нагрузки рабочего органа. Приведенные научные результаты и выводы свидетельствуют о решении крупной актуальной научно-технической проблемы. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Приведенные замечания не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой работы. Содержание диссертационной работы полностью соответствует ее названию и паспорту специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы». Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа Горожанкина Алексея Николаевича полностью соответствует требованиям п. 9, п. 10, п. 11, п. 13, п. 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в части требований, предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Соискатель имеет 67 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 67 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, опубликована 21 работа, 19 статей в международной базе цитирования Scopus, 7 патентов и 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Система прямого управления моментом в синхронном электроприводе / А.Н. Горожанкин, А.Н. Шишков, Е.В. Белоусов, Д.А. Сычев, С.И. Кинас // Электротехника. – 2014. – №10. – С. 29-32 (4 с./3 с.)

2. Динамические показатели активных выпрямителей / М.А. Григорьев, С.И. Кинас, А.Н. Горожанкин, Е.В. Белоусов // Электротехника. – 2014. – №10. – С. 53-55 (3 с./0,5 с.)

3. Параметрическая оптимизация синхронного электропривода с улучшенными массогабаритными показателями / А.Н. Горожанкин, М.А. Григорьев, А.М. Журавлев, Д.А. Сычев // Электротехника. – 2015. – №12. – С. 19-22 (4 с./2 с.)

4. Компенсация радиальных усилий в электроприводах с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Е.В. Белоусов, А.Н. Шишков, А.Н. Горожанкин, А.Е. Бычков // Электротехника. – 2015. – №12. – С. 35-38 (4 с./1 с.)

5. Расчет потерь и тепловых режимов работы регулируемых электроприводов переменного тока / А.Н. Горожанкин, А.А. Грызлов, Е.С. Хаятов // Электротехника. – 2017. – №4. – С. 18-21 (4 с./2 с.)

6. Способы снижения потерь в электроприводах и повышение электробезопасности при их обслуживании / К.Б. Кузнецов, А.Н. Горожанкин, Т.А. Функ, Ш.Н. Хусаинов, Г.А. Круглов, А.В. Коржов // Электротехника. – 2017. – №4. – С. 26-29 (4 с./2 с.)

7. Оптимизация управляющего воздействия в синхронных реактивных и индукторных электроприводах переменного тока / А.Н. Горожанкин, А.А. Грызлов, А.Т. Циркуненко, А.М. Журавлёв // Электротехника. – 2018. – №4. – С. 2-7 (6 с./3 с.)

8. Учёт потерь в стали в системах управления синхронными реактивными электроприводами / А.Н. Горожанкин, С.С. Буханов, А.А. Грызлов, М.А. Григорьев // Электротехника. – 2019. – №5. – С. 2-9 (8 с./4 с.)

9. Горожанкин, А.Н. Выбор геометрии ротора синхронной реактивной машины для электроприводов стана холодной прокатки труб / А.Н. Горожанкин // Электротехника. – 2020. – №5. – С. 2-7.

10. Горожанкин, А.Н. Алгоритмы и структуры управления электроприводом подачи стана холодной прокатки труб / А.Н. Горожанкин, М.М. Дудкин // Электротехника. – 2020. – №7. – С. 33-39.

11. Оценка эффективности электромеханического преобразования в синхронных реактивных машинах / А.Н. Горожанкин, В.А. Кушнарёв, А.А. Грызлов // Электротехника. – 2021. – №5. – С. 2-7 (6 с./3 с.)

12. Удельные показатели электропривода с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов, А.Н. Горожанкин // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2008. – Вып. 9. – №11 (111). – С. 52-53 (2 с./1 с.).

13. Горожанкин, А.Н. Коммутационные потери в электроприводе с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / А.Н. Горожанкин // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2009. – Вып. 12. – №34 (167). – С. 56-59.

14. Потери в регулируемых электроприводах при разных законах управления / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, К.М. Виноградов, А.Н. Горожанкин, А.Е. Бычков // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2010. – Вып. 13. – №14 (190). – С. 47-51 (5 с./1 с.)

15. Синтез системы управления электроприводом с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, С.П. Гладышев,

А.Н. Горожанкин // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2012. – Вып. 18. – №37 (296). – С. 38-41 (4 с./1 с.)

16. Пульсации электромагнитного момента в электроприводе с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / А.Н. Шишков, А.Н. Горожанкин, Т.А. Козина, А.Е. Бычков, Е.В. Белоусов, А.М. Журавлев, Д.А. Сычев // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2013. – Т. 13. – №1. – С. 103-110 (8 с./1 с.)

17. Тяговый электропривод активного прицепа трубовоза / Ю.С. Усынин, А.Н. Шишков, А.Н. Горожанкин, А.Е. Бычков, Е.В. Белоусов, А.М. Журавлев, Д.А. Сычев // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2013. – Т. 13. – №1. – С. 137-143 (7 с./1 с.)

18. Моделирование электропривода активного прицепа / Ю.С. Усынин, А.Н. Шишков, А.Н. Горожанкин, А.Е. Бычков, Е.В. Белоусов, А.М. Журавлев, Д.А. Сычев // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2013. – Т. 13. – №2. – С. 106-113 (8 с./2 с.)

19. Обобщенная аналитическая математическая модель электромеханического преобразователя как объекта управления / А.Н. Горожанкин, А.А. Грызлов, Е.С. Чупин, Е.С. Хаятов // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2016. – Т. 16. – №4. – С. 72-76 (5 с./2 с.)

20. Горожанкин, А.Н. Особенности синтеза синхронных реактивных и индукторных электрических машин / А.Н. Горожанкин, А.В. Коржов // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2022. – Т. 22, №2. – С. 81–91 (11 с. / 7 с.)

21. Новые высокомоментные энергосберегающие электроприводы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, А.Н. Горожанкин, А.Е. Бычков // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2010. – Вып. 3. – Ч. 4. – С. 71-76 (6 с./2 с.)

На автореферат диссертации поступило 12 отзывов, все положительные:

1. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород, отзыв подписан заведующим кафедрой «Электрооборудование, электропривод и автоматика», доктором технических наук, доцентом Дарьенковым Андреем Борисовичем, доцентом кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика», кандидатом технических наук, доцентом Серебряковым Артёмом Владимировичем, профессором кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика», доктором технических наук, профессором, заслуженным деятелем науки РФ Титовым Владимиром Георгиевичем с замечаниями: 1. Из материалов автореферата не ясно, к каким последствиям (погрешностям) приведут допущения, принятые при моделировании

электромеханического преобразования энергии (стр. 12). Также, автору следовало бы количественно оценить термин «удовлетворительная погрешность». 2. На наш взгляд, автору следовало бы более подробно объяснить каким образом экстраполируется моделирование для электрических машин среднего диапазона мощностей на машины малой и большой мощности (стр. 17). 3. Из материалов автореферата не ясно, рассматривались ли автором исследования вопросы сравнения надежности и наработки на отказ для представленных типов электрических машин.

2. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, отзыв подписан заведующим кафедрой «Электроника и электротехника», доктором технических наук, доцентом Тутаевым Геннадием Михайловичем, доцентом кафедры «Электротехника и электроника», кандидатом технических наук Бобровым Максимом Андреевичем с замечаниями: 1. Соискатель утверждает, что полученные конечно-элементные модели среднего диапазона мощности позволяют экстраполировать и обобщить результаты оптимизации на другие диапазоны (малой и большой мощности) с точки зрения конфигурации магнитных систем вариацией относительного магнитного сопротивления воздушного зазора. Было бы целесообразно уточнить данные диапазоны мощности электродвигателей. 2. Не раскрытым остается вопрос аппаратных и программных средств, с помощью которых были реализованы алгоритмы работы адаптивного регулирования активной мощности, синтеза законов управления токами СРМ и оптимизации размеров элементов магнитопроводов. 3. На стр. 30 автореферата сказано, что по результатам исследования для тягового применения по аналогии с табл. 6 можно рекомендовать FSDC или СРМсЗР, работающие в составе регулируемого тягового электропривода (табл. 7) и наибольшее значения критерия выбора у СРМсАР1 и СРМсАР2 при работе в составе регулируемого электропривода механизмов с нагрузкой вентиляторного типа. Следовало бы описать результаты исследований для электроприводов с другими характерными типами нагрузок.

3. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, отзыв подписан профессором кафедры «Системы автоматического управления», доктором технических наук, профессором Путовым Виктором Владимировичем с замечаниями: 1. Из автореферата не ясно, каким образом осуществлялось перераспределение потерь в меди обмоток на втором этапе оптимизации управляющих воздействий. 2. Что представляется из себя целевая функция при вычислениях в блок-схеме алгоритма (стр. 22 автореферата)?

3. Что понимается под адаптивным регулированием активной мощности (рис. 6)? Не представлен адаптивный регулятор и его параметры.

4. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, отзыв подписан профессором кафедры «Электроника и микроэлектроника», доктором технических наук, доцентом Петушковым Михаилом Юрьевичем с замечаниями: 1. В научных положениях автор предлагает п. 3 «...улучшение потребительских свойств электрических машин...». А какие именно в автореферате не показаны. 2. Из автореферата не понятно как для режима работы с 4-х кратной перегрузкой по току изменяется температура отдельных частей машины и почему выбран именно этот диапазон изменения величины нагрузки? 3. Из рис. 4 видно, что коэффициент мощности двух типов машин равен 0,1. Какова целесообразность их использования?

5. ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, отзыв подписан профессором кафедры «Энергетика», доктором технических наук, профессором Суворовым Иваном Флегонтовичем с замечанием: на стр. 29 в формуле (5) автореферата не совсем понятно, как получили весовые коэффициенты, которые существенно будут влиять на критерии выбора.

6. ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, отзыв подписан профессором кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», доктором технических наук, профессором Петрушиным Александром Дмитриевичем с замечаниями: 1. Как были рассчитаны потери в стали для различных типов электрических машин в зависимости от скорости и тока? 2. Большое разнообразие нагрузок и скоростей вращения ротора приведет к разработке огромного модельного ряда электрических машин, что представляется экономически нецелесообразным. 3. Замечены опечатки в автореферате: в подрисуночной подписи рис. 2 в слове «оптимизация» пропущена буква «ц», в заключении в последнем предложении четвертого вывода вместо предлога «по» написано «оп».

7. ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск, отзыв подписан профессором кафедры «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы», доктором технических наук, доцентом Федяевой Галиной Анатольевной с замечаниями: 1. В автореферате не отражено влияние управляющих воздействий, оптимизирующих отдельные показатели электрической машины, на устойчивость работы электропривода. 2. В автореферате указано, что исследуемые машины применяются в тяговых приводах, но синхронные машины при изменении режима работы склонны к колебаниям, это может приводить к развитию автоколебательных

процессов при срыве сцепления в мощных тяговых электроприводах рельсового транспорта.

8. ФГАНУ «Центр социологических исследований», г. Москва, отзыв подписан и.о. директора, доктором технических наук, профессором Келлером Андреем Владимировичем с замечаниями: 1. Согласно п.6 заключения оптимизация электромеханических преобразователей выполнялась по ряду технико-экономических показателей. В автореферате не представлены экономические показатели этого ряда. 2. В автореферате не представлена информация по конечно-элементным моделям электрических машин: параметры сетки, название программного продукта. 3. Требуется показать корректность сопоставления теоретических расчетов с результатами моделирования на конечно-элементных моделях без проведения реальных измерений на физическом объекте.

9. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, отзыв подписан профессором кафедры «Электрификация горных предприятий», доктором технических наук, старшим научным сотрудником Карякиным Александром Ливиевичем с замечаниями: 1. Следует пояснить, почему в названии работы не отражены, кроме электрических машин, другие равновесные составные части структуры электротехнического комплекса преобразования электроэнергии, как того требует паспорт специальности 2.4.2. 2. В автореферате указано, что объектом исследования являются синхронные реактивные и индукторные электрические машины. Какое место в исследовании занимают другие равновесные составные части структуры электротехнического комплекса? 3. При определении взаимосвязи между типами электрических машин и величиной потерь в стали (четвертое положение о научной новизне) автор упоминает режим работы на «высоких скоростях». На стр. 28 автореферата указано, что «высокая скорость» вращения характеризуется четырехкратным превышением номинальной частоты вращения. В электроприводе каких механизмов электродвигатель работает в режиме четырехкратного превышения номинальной угловой скорости? 4. Из автореферата следует, что пятое научное положение о разработке методики выбора электрической машины для конкретного применения с учетом требований технологического процесса носит частный характер, так как не учитывает передаточное отношение редуктора. Поэтому в общем случае методика применима для безредукторного электропривода. 5. В четвертом выводе (с. 31) для характеристики режима работы электропривода следовало бы использовать терминологию из области теории электропривода и, в частности, ГОСТ Р 52776-2007.

10. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск, отзыв подписан профессором кафедры «Электрооборудование и автоматика», доктором технических наук Филушовым Юрием Петровичем с замечаниями: 1. В автореферате нет характеристик, в графическом виде показывающих зависимости основных показателей качества (КПД, $\cos \varphi$, потребляемой и отдаваемой исполнительному механизму мощности в условиях ограничения напряжения источника питания) от нагрузки, позволяющих сравнить возможности работы той или иной конструкции электрической машины рассматриваемого класса. 2. Нет сравнения нагрузочных характеристик рассматриваемого класса машин с асинхронными машинами и синхронными машинами с постоянными магнитами явнополюсными и неявнополюсными, учитывая высокую стоимость электроэнергии. 3. Если в работе приняты столь серьезные допущения (характеристика намагничивания линейна, потоки рассеивания отсутствуют), то стоит ли говорить об оптимизации? 4. В автореферате нет информации об эффективности использования мощности, подводимой к обмоткам двигателя, не показана работа машины при малой нагрузке. 5. Поскольку в автореферате рассматривается формирование управляющих воздействий, то следовало бы описать регуляторы, должны быть динамические модели каждой из рассматриваемого класса машин. В противном случае, как ими управлять.

11. ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре, отзыв подписан председателем НТС ЭТФ, деканом факультета энергетики и управления, кандидатом технических наук, доцентом Гудимом Александром Сергеевичем, профессором кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», доктором технических наук, профессором Соловьевым Вячеславом Алексеевичем с замечаниями: 1. Из автореферата не ясно какие критерии использовались при выборе габарита (мощности) электрической машины для оптимизационной модели. 2. В заключении отмечено, что получены обобщенные аналитические зависимости электромагнитного момента в функции углового положения ротора и времени..., а в тексте автореферата их не наблюдается, что несколько затрудняет восприятие материала.

12. ООО НТЦ «Приводная техника», г. Челябинск, отзыв подписан генеральным директором Булановым Александром Александровичем, научным консультантом, доктором технических наук, профессором Омельченко Евгением Яковлевичем с замечаниями: 1. Из автореферата не ясно, проводились ли исследования параметров напряжения, подаваемого на фазные обмотки электрических машин исследуемого класса, в расширенных диапазонах изменения момента и скорости вращения ротора. 2. Согласно

автореферату, автор проводил оптимизацию по целевым показателям: минимум пульсаций момента или максимум его среднего значения. Не вступают ли в противоречие эти показатели? Выполнялись ли расчеты величины проигрыша по одному из показателей при оптимизации по другому показателю?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается публикациями авторов по заданной тематике. За последние 5 лет имеются публикации: доктор технических наук, профессор Сарваров А.С. – 3 публикации в изданиях из перечня ВАК, 2 публикации в изданиях, индексируемых Scopus; доктор технических наук, профессор Мещеряков В.Н. – 4 публикации в изданиях из перечня ВАК, 1 публикация в изданиях, индексируемых Scopus; доктор технических наук, доцент Хакимьянов М.И. – 1 публикация в изданиях из перечня ВАК, 6 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus; ведущая организация – 7 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 1 публикация в изданиях, индексируемых в Scopus. Сотрудниками ведущей организации являются ученые и специалисты, научная деятельность которых связана с электрическими машинами и электроприводами: д.т.н., доцент Глазырин А.С., д.т.н., доцент Однокопылов Г.И., к.т.н., доцент Кладиев С.Н. и др.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

получила развитие и обобщена теория электромеханического преобразования энергии в классе синхронных реактивных и индукторных электрических машин, которая учитывает особенности совместной работы полупроводникового и электромеханического преобразователей, а именно, полигармоническую форму фазных токов с совместным использованием математического аппарата разложения сигналов произвольной формы в ряд Фурье и аппарата анализа электромагнитного состояния электрической машины методом конечных элементов. Предложенная теория позволяет расширить представления о физических процессах, протекающих в электромеханических преобразователях, работающих в зоне перегрузок, выполнить оптимизационные процедуры при проектировании электрических машин исследуемого класса, а также формировать требования к форме управляющих воздействий;

разработана концепция решения научно-технической проблемы улучшения технико-экономических показателей всего класса синхронных реактивных и индукторных электрических машин, работающих в зоне кратковременных перегрузок, и которая выходит за рамки электромеханики. Новые возможности существенного улучшения всего комплекса технико-экономических показателей могут быть достигнуты на стыке знаний в

области электромеханики, электропривода, полупроводниковой техники и микропроцессорных устройств управления. Основная идея концепции заключается в учете совместной работы полупроводникового преобразователя, электрической машины и технологического объекта, что позволяет иначе выбирать соотношение активных материалов, схему силовых цепей, форму управляющих воздействий. Актуальность и масштабность указанной проблемы определяются необходимостью увеличения эффективности технологических процессов в металлургической, нефтегазовой и электротранспортной сферах средствами электропривода, а также существенной долей (до 30%) технологических механизмов, работающих с перегрузками по моменту;

предложены новые методы оптимизации синхронных реактивных и индукторных электрических машин, позволяющие улучшить их потребительские свойства, а именно, удельный электромагнитный момент, коэффициент мощности, КПД за счет учета характерных режимов работы проектируемых электромеханических преобразователей;

обобщены результаты исследований на моделях средней мощности на малую и большую мощности за счет учета доли магнитного сопротивления воздушного промежутка, электромагнитных нагрузок и количества фаз статорной обмотки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность улучшения удельных массогабаритных показателей класса электрических машин в среднем на 10%, а при соотношении перегрузки к номинальному моменту 4:1 этот показатель может достигать 20%, что объяснено полезным взаимодействием высших гармонических МДС с высшими гармоническими проводимости вблизи воздушного зазора. В тоже время, определена верхняя граница снижения доли общих потерь на 15%, что достигается при коэффициенте перегрузки по скорости, равном четырем, и объяснено использованием возможностей (резервов) коррекции угла нагрузки с учетом потерь в стали;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы основные положения теории электромеханического преобразования энергии, теории расчёта электрических цепей, метод конечных элементов, методы математического моделирования систем на ЭВМ, методы многомерной и многокритериальной оптимизации, методы экспериментального исследования;

изложена идея учета режима работы применительно к классу синхронных реактивных и индукторных электрических машин на этапах их проектирования и наладки системы электропривода на базе этих электрических машин;

идея базируется на возможностях изменения размеров элементов магнитопровода в активной части электрических машин исследуемого класса и параметров электрической энергии, подаваемой на электромеханический преобразователь от электрического преобразователя. Первая возможность позволяет спроектировать электрическую машину под наиболее значимый режим работы, отличный от номинального. Вторая возможность позволяет корректировать алгоритмы управления в зависимости от скорости вращения ротора и нагрузки в процессе работы;

раскрыты особенности, возможности и перспективы применения методов и обобщенных алгоритмов оптимизации, обобщенных математических моделей электрических машин исследуемого класса, направленных на проектирование и наладку. В первую очередь высокая эффективность спроектированных с использованием предлагаемых методов и моделей новых серий электрических машин будет проявляться в металлургическом электроприводе большой мощности, тяговом электроприводе средней и большой мощностей, в электроприводе вентиляторов и насосов большой мощности;

изучены электромагнитные процессы, протекающие в синхронных реактивных и индукторных электрических машинах, во взаимосвязи их параметров и режимов работы с перегрузками по моменту и высокими скоростями вращения ротора.

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

разработаны и внедрены новые методы и подходы к проектированию электрических машин, работающих в расширенных диапазонах скоростей и моментов нагрузки и, в первую очередь, в зонах перегрузки по моменту и высоких скоростей вращения ротора, а также новые методы наладки электроприводов на базе электрических машин исследуемого класса в учебный процесс при подготовке ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) по дисциплинам «Электрические машины», «Теория электропривода», «Системы управления электроприводов», рассмотрены и положительно оценены экспертами ПАО «Челябинский трубопрокатный завод», ООО НТЦ «Приводная техника», ООО «Снежинский завод специальных электрических машин», что подтверждено соответствующими документами;

создана система практических рекомендаций при выборе параметров синхронных реактивных и индукторных электрических машин, работающих в расширенных диапазонах скоростей и моментов нагрузки, на этапе проектирования;

представлена оригинальная методика выбора типа и модификации электрической машины в зависимости от требований технологического процесса в основу которой положен метод скалярного ранжирования и критерий Парето.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с помощью сертифицированного оборудования и показана воспроизводимость результатов исследований в различных условиях;

теория построена на известных проверяемых результатах, в том числе для электромагнитных процессов, протекающих в синхронных реактивных и индукторных электрических машинах, и согласуется с опубликованными данными, представленными в работах российских и зарубежных ученых;

использованы авторские данные и данные, полученные в трудах российских специалистов Чиликина М.Г., Ильинского Н.Ф., Ивоботенко Б.А., Садовского Л.А., Бычкова М.Г., Красовского А.Б., Казаченко В.Ф., Беспалова В.Я., Сарапулова Ф.Н., Дмитриевского В.А., Прахта В.А., Усынина Ю.С., Григорьева М.А., так же иностранных специалистов Lee C., Chau K., Tounzi A., Lawrenson P., Vagati A., Lipo T., Tang Y.;

использованы современные компьютерные программы математического моделирования и оборудование промышленных партнеров ООО НТЦ «Приводная техника», ООО «Снежинский завод специальных электрических машин»;

установлено качественное и количественное совпадение результатов математического моделирования и экспериментальных испытаний алгоритма коррекции управляющих воздействий на статорные цепи электрических машин исследуемого класса в зависимости от скорости вращения ротора и момента нагрузки.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке и обосновании задач исследования, разработке методов и обобщении результатов исследований; все научные положения разработаны автором лично; все результаты, приведенные в диссертации, получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Получены ли были в работе какие-либо требования к электрическому преобразователю по быстродействию. То есть, как рост, например, напряжения преобразователя, повлияет на электрическую машину? Были ли получены какие-либо требования?

2. Алексей Николаевич, у Вас в цели работы, первое – это развитие теории, а второе улучшение потребительских свойств. Какие потребительские свойства Вы улучшили и на сколько?

3. На следующем 10 слайде у Вас были границы применимости модели. Насколько я понимаю, сравнивалось с каким-то пакетом, в котором Вы рассчитывали методом

конечных элементов. Была такая фраза, что более точной была конечно-элементная модель. Тогда такой вопрос, может можно было все в нем сделать и не развивать такую теорию, все бы получилось?

Соискатель Горожанкин А.Н. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. В работе были синтезированы, получены для каждой электрической машины в широких диапазонах изменения момента нагрузки и скорости временные диаграммы напряжения. По этим временным диаграммам напряжения можно оценить необходимое, требуемое, желаемое быстродействие электрического преобразователя и сформировать техническое задание для его изготовления. Если у нас электрический преобразователь не будет выдавать требуемые параметры напряжения, то это приведет к снижению удельных показателей и здесь возможно решение дополнительных задач, которые связаны с поиском при данных ограничениях, при наложении данных ограничений наилучшей формы тока, которая бы удовлетворяла этим ограничениям.

2. Рассматривался основной показатель – это величина электромагнитного момента. В этой части увеличивалось его среднее значение, снижались его пульсации. Отсюда вытекают, если мы увеличиваем электромагнитный момент, то увеличивается КПД. Удельный момент, т.е. габарит машины задан. Соответственно, металлоемкость машины, т.е. мы в одну машину вписываем большее усилие, больший момент. И, соответственно, уменьшается металлоемкость, уменьшается себестоимость. Т.е. вот этот базовый показатель – электромагнитный момент вытягивает за собой ряд других как технических, так и экономических показателей.

3. Нет, здесь идея в том, чтобы использовать обобщенную аналитическую математическую модель для оценки глобальной трендов развития возможностей. У нас конечно-элементная модель – это инструмент, с которым мы можем работать. Но как с этим инструментом работать? Либо это опыт большой работы с конечно-элементной моделью, позволяет ее изменять таким образом, чтобы получить целевые показатели. Либо это должна быть какая-то модель математическая, которая способна составить картину в целом, т.е. мы можем увидеть пиксель или отойдем дальше и увидим картину в целом. Вот аналитическая математическая модель позволяет увидеть картину электромеханического преобразования в целом и наметить пути воздействия на конечно-элементную модель, которые приводят к положительному результату.

На заседании 10 октября 2023 г. диссертационный совет принял решение: за развитие теории электрических машин исследуемого класса и решение научно-

