

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.165.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 31 мая 2018 г., № 87

О присуждении Боброву Максиму Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование бездатчикового электропривода на базе машины двойного питания» по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 30 марта 2018 года, протокол № 86 диссертационным советом Д 212.165.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Министерство образования и науки Российской Федерации, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, приказ №156/нк от 01.04.2013 г.

Соискатель Бобров Максим Андреевич 1992 года рождения.

В 2014 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего образования «Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева».

В 2018 году соискатель окончил очную аспирантуру «Мордовского государственного университета им Н.П. Огарева», в настоящее время работает инженером на кафедре электроники и электротехники института электроники и светотехники.

Диссертация выполнена в лаборатории вентильных электрических машин кафедры «Электроника и наноэлектроника» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Мордовский

государственный университет им Н.П. Огарева» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Тутаев Геннадий Михайлович, доцент кафедры «Электроника и наноэлектроника», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева».

Официальные оппоненты:

1. Макаров Валерий Геннадьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (г. Казань);

2. Серебряков Артём Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (г. Нижний Новгород)

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (г. Липецк), в своем **положительном** заключении, подписанном **Мещеряковым Виктором Николаевичем** – доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Электропривод»,

указала, что диссертационная работа Боброва М.А., в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), является научно-квалификационной работой, в которой решена научно-техническая проблема энерго- и ресурсосбережения средствами электропривода, имеющая важное хозяйственное значение в рамках современной энергетической политикой РФ.

Работа соответствует заявленной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы и удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, а ее автор, **Бобров Максим Андреевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Разработанные в диссертационной работе комплексы математических и имитационных моделей, комплексы программ и алгоритмы бездатчикового векторного управления могут быть рекомендованы для организаций, занятых разработкой систем мощного регулируемого электропривода переменного тока промышленных механизмов и модернизацией уже существующих регулируемых электроприводов. Применение полученных результатов научных исследований позволяет повысить надёжность и эффективность регулируемых приводов.

Отзыв ведущей организации **утвердил**, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» д.т.н. **Сараев Павел Викторович**.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 14 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 3. Объем научных изданий – 4,5 печатных листов, из них авторский вклад – 3,25 печатных листа. Соискателем опубликовано 9 работ в материалах всероссийских и международных конференций, 1 патент РФ на изобретение и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Бобров М.А.** Наблюдатели магнитного потока в системе управления электроприводом с двигателем двойного питания / М.А. Бобров, Г.М. Тутаев // Электричество. 2018. №2. С. 44-51.

2. **Бобров М.А.** Разработка бездатчиковой цифровой системы управления электроприводом на базе асинхронизированного вентильного двигателя / М.А. Бобров, И.С. Юшков, Г.М. Тутаев, И.В. Гуляев// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: ЭНЕРГЕТИКА. 2017. Т. 13. №3. С. 95- 101.

3. **Бобров М.А.** Оценка энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя при различных способах аппроксимации кривой намагничивания. / Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, И.В. Гуляев // Электротехника. 2017. № 6. С. 2-6.

На диссертацию и автореферат поступило 8 положительных отзывов:

1) ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск). Подписал: д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизированный электропривод и мехатроника» Сарваров А.С.;

2) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург). Подписали: к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Костылев А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Поляков В.Н.;

3) ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» (г. Иваново). Подписал: д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Колганов А.Р.;

4) ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (г. Новосибирск). Подписали: д.т.н., доцент, доцент кафедры «Проектирование технологических машин» Нос О.В., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Котин Д.А.;

5) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.» (г. Саратов). Подписал: д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системотехника» Томашевский Ю.Б.;

6) ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова» (г. Санкт-Петербург). Подписали: д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и электрооборудование береговых установок» Саушев А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электропривод и электрооборудование береговых установок» Шошмин В.А.;

7) ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения» (г. Омск). Подписали: д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» Харламов В.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника» Попов Д.И.

8) СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (г. Санкт-Петербург). Подписал: д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электротехнологическая и преобразовательная техника» Блинов Ю.И.

Все отзывы **положительные**, в них отмечается актуальность, новизна исследований и практическая значимость работы, а также то, что Бобров М.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

В качестве критических замечаний отмечается следующее:

не указаны сделанные допущения при расчётах суммарных потерь в двигателе, отсутствует обоснование выбора порогового значения электромагнитного момента, при котором происходит переключение алгоритмов управления, слабое внимание уделено описанию настроек контуров управления координатами электропривода, отсутствуют строгие количественные оценки робастных свойств предложенных наблюдателей по отношению к известным наблюдателям, отсутствует указание диапазона скоростей и нагрузок, при котором разрабатываемая система управления остаётся робастной и обеспечивает вычисления скорости ротора с приемлемой точностью.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и значительным опытом в области разработки и внедрения систем регулируемого электропривода переменного тока, что подтверждается представленными ими списками научных трудов и документами авторского права.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

– алгоритмы бездатчикового векторного управления позволяющие регулировать скорость и потокосцепление двигателя, при этом дающие возможность отказаться от применения датчиков скорости/положения на валу при проектировании регулируемого электропривода на базе МДП с использованием серийного двигателя;

– усовершенствованный алгоритм управления МДП по критерию минимума суммарных потерь в двигателе с применением оптимального способа аппроксимации кривой намагничивания;

– электропривод с микроконтроллерной системой управления может быть использован как при создании новых систем АЭП на базе МДП, так и при модернизации существующих электроприводов;

– система управления ЭП на базе МДП, работающей в режиме асинхронизированного вентильного двигателя, отличающаяся возможностью непрерывного измерения частоты тока статора для реализации частотно-зависимого управления ЭП и исключающая необходимость определения точки перехода тока через «ноль», что облегчает практическую реализацию;

– программа для измерения частоты возбуждения в ЭП на базе МДП для реализации частотно-зависимых принципов управления;

предложено устройство для бездатчикового управления двигателем двойного питания, алгоритм которого заключается в идентификации потокосцепления двигателя, основанный на переключении двух моделей наблюдателей потокосцепления в зависимости от текущего значения тока намагничивания с целью сочетания преимуществ и устранения недостатков предложенных моделей наблюдателей потокосцепления;

доказана эффективность применения наблюдателя скорости, ошибка в вычислениях которого не превышает значения 3% на низких скоростях ротора без датчика на валу и инвариантная к изменению параметров двигателя. Также использование комбинированного наблюдателя потокосцепления с коммутатором двух моделей наблюдателей, позволяющего получить ошибку в оценке потокосцепления не более 11 % на всей кривой намагничивания, исключив при этом недостатки и сочетать достоинства двух рассмотренных моделей наблюдателей потокосцепления.

Реализация энергоэффективного алгоритма минимума суммарных потерь с применением аппроксимации кривой намагничивания кубическим сплайном позволяет более точно учесть суммарные потери в двигателе на аналитической модели, повысить КПД базового АДФР на 5 % за счёт снижения токов, потребляемых от силовых преобразователей. Однако практическая реализация микропроцессорной системы управления усложняется из-за введения таблиц с расчётными значениями кривой намагничивания.

Новых понятий не вводилось.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказано снижение числа механических узлов системы электропривода с МДП за счёт реализации бездатчиковых принципов управления и повышение энергетических показателей (КПД, коэффициента мощности) электропривода за счет применения результатов, полученных в ходе исследования.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих теоретических положений и программных пакетов *Excel*, *Matlab-Simulink*, *Matlab-SimPowerSystem*, *LabView* для моделирования предложенных алгоритмах управления и расчета энергетических характеристик электропривода на базе МДП при различных режимах работы;

изложены основные принципы построения машинно-вентильного каскада с двумя преобразователями частоты в цепях статора и ротора и асинхронным двигателем с фазным ротором в качестве базовой машины с реализацией бездатчиковых векторных законов управления;

раскрыт подход к разработке усовершенствованной системы управления электроприводом на базе машины двойного питания путем синтеза новых бездатчиковых алгоритмов с реализацией наблюдателей состояний, обеспечивающий повышение энергетических характеристик исключением датчиков потока, скорости или момента из системы электропривода;

изучены:

– работа привода при бездатчиковых принципах управления без применения датчиков механических и магнитных переменных;

– особенности регулирования частоты возбуждения и применения различных способов аппроксимации кривой намагничивания двигателя, оказывающие превалирующее влияние на энергетические характеристики электропривода в зависимости от режимов работы;

проведена модернизация:

– системы управления электроприводом с МДП с учетом программной реализации бездатчиковых алгоритмов управления;

– имитационной модели электропривода в пакетах *Matlab-Simulink* и *Matlab-SimPowerSystem* с учетом применения наблюдателей координат в системе управления преобразователями в цепи ротора и статора;

– статической модели электропривода в пакетах *Excel* и *Labview* с учетом применения различных способов аппроксимации кривой намагничивания двигателя;

– системы бездатчикового векторного управления ЭП на базе МДП, работающей в режиме АВД;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что результаты работы использованы в:

– исследованиях по гранту Российского научного фонда №15-19-20057 «Разработка усовершенствованных алгоритмов управления и методов модуляции для минимизации потерь в электроприводах переменного тока» в 2015-2017 г.г.

- исследованиях по гранту Федеральной целевой программы прикладных исследований при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в соответствии с соглашением о предоставлении субсидии № 14.574.21.0135 (уникальный идентификатор *RFMEFI57417X0135*) в 2017-2018 г.г.

Новые разработки реализовывались в практической деятельности ООО «Симетра-Инжиниринг» (г. Саранск)

разработаны и внедрены:

– разработан электропривод с микроконтроллерной системой управления и реализацией бездатчиковых энергоэффективных законов управления;

– в рамках модернизации внедрена система автоматизированного электропривода мощностью 110 кВт высокопроизводительной сепараторной установки цементной мельницы замкнутого цикла на ОАО «Мордовцемент»;

определены перспективы применения результатов исследования для создания систем автоматизированного электропривода переменного тока на базе двигателя двойного питания;

созданы макетные образцы электропривода для проведения экспериментальных исследований, образцы для выполнения ОКР;

представлены рекомендации по выбору алгоритма бездатчикового управления ЭП с МДП в зависимости от режима работы привода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ: результаты получены на специализированном оборудовании с использованием сертифицированных устройств, приборов и методик измерения, проверка разработанных алгоритмов по данным макетов;

теория построена на известных, опубликованных автором по теме диссертации и проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуется с ними. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и полученных результатов базируется на строго доказанных и корректно использованных выводах математического анализа, математического и имитационного моделирования, анализа осциллограмм реальных процессов в электроприводе;

идея базируется на использовании и обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых, разрабатывающих современные системы регулируемого электропривода переменного тока;

использовано сравнение авторских данных с данными предыдущих исследований в указанной области;

установлено, что результаты экспериментальных исследований с приемлемой для инженерной практики степенью точности согласуются с результатами теоретических расчетов;

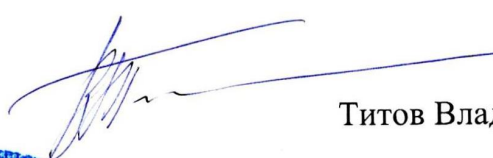
использованы современные методы обработки исходной информации и информации, полученной в результате математического моделирования процессов, а также осциллограмм реальных процессов в электроприводе с МДП.

Личный вклад соискателя состоит в разработке математических моделей и структур наблюдателей координат электропривода на базе машины двойного питания. Также соискателю принадлежит общая концепция исследования, синтез наблюдателей координат и системы векторного управления, обоснование и разработка алгоритмов управления и анализ полученных результатов.

На заседании 31 мая 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Боброву М.А. ученую степень кандидата технических наук, так как диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, в диссертации изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны, а именно, разработаны алгоритмы энергоэффективного бездатчикового управления, позволяющие уменьшить число механических узлов в системе электропривода с МДП, а также повысить КПД базового АДФР на 5 % за счёт снижения токов, потребляемых от силовых преобразователей.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени -14, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета
д.т.н., профессор



Титов Владимир Георгиевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н.



Титов Дмитрий Юрьевич