

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.07

Соискатель: Дунич Евгений Алексеевич.

Тема диссертации: Определение динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками

Специальность: 05.09.03. «Электротехнические комплексы и системы».

Решение диссертационного совета по результатам публичной защиты диссертации:

На заседании 13 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение актуальной научно-технической задачи, имеющей значение для развития теории управления вентильными двигателями – задачи построения систематизации способов формирования наборов базовых векторов, расширяемой на произвольное количество фаз и секций фазной обмотки и позволяющей сравнивать способы по статическим, динамическим и энергетическим характеристикам, присудить Дуничу Евгению Алексеевичу учёную степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Пенкин В.Т., *заместитель председателя диссертационного совета* Ковалев К.Л., *заместитель председателя диссертационного совета* Самсонович С.Л., *учёный секретарь диссертационного совета* Дежин Д.С., Бусурин В.И., Вольский С.И., Зечихин Б.С., Кириллов В.Ю., Кривилёв А.В., Машуков Е.В., Оболенский Ю.Г., Парафесь С.Г. Равикович Ю.А., Шевцов Д.А.

Учёный секретарь диссертационного совета
Д 212.125.07, к. т. н, доцент

Д.С. Дежин



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.07, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ
ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 13 сентября 2022 г. № 19

О присуждении **Дуничу Евгению Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Определение динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками» по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 11.07.2022 г. (протокол № 14) диссертационным советом Д 212.125.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Дунич Евгений Алексеевич 17 июня 1981 года рождения.

В 2017 году окончил обучение в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), г. Москва, по специальности «Интегрированные системы летательных аппаратов», квалификация — «инженер».

В 2021 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в должности инженера.

Диссертация выполнена на кафедре «Системы приводов авиационно-космической техники» института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

Научный руководитель – Кривилёв Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор РАН, директор дирекции института №7 «Робототехнические и интеллектуальные системы», и.о. заведующего кафедрой «Системы приводов авиационно-космической техники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Горячев Олег Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» Института высокоточных систем им. В.П. Грязева федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ);

Соловьев Владимир Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Электротехника и промышленная электроника» (ФН-7) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» дали **положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация — акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» (АО «ЦНИИАГ»), г. Москва, в своём положительном отзыве, рассмотренном и одобренном на расширенном заседании секции № 5 Научно-Технического Совета (НТС) АО «ЦНИИАГ» 19 августа 2022 года, (протокол № 1500/1473а/5-2022 от 19.08.2022), подписанном начальником НТО-8, заместителем главного конструктора, доктором технических наук, старшим научным сотрудником В.В. Щербининым, начальником НТО-5, заместителем главного конструктора Л.Г. Жезловым, заместителем начальника НТО-5, кандидатом технических наук С.В. Овсянниковым, указала, что работа Е.А. Дунича «Определение динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую комплекс научных исследований и новых решений актуальных проблем в области электротехнических комплексов и систем. Для решения задачи определения динамических возможностей привода предложен секционный подход к исследованию физических процессов в системе «усилитель мощности — двигатель» и формированию наборов базовых векторов магнитной индукции якоря. Диссертация Дунича Е.А. соответствует пунктам 1, 4 паспорта специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» и охватывает следующие области исследования:

– «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»;

– «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах при разнообразных внешних воздействиях».

Автореферат в полной мере раскрывает основное содержание диссертационной работы, даёт полную информацию о полученных результатах работы и рекомендациях разработчикам приводов.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к диссертациям, выполняемым на соискание учёной степени кандидата технических наук, и соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ (№ 842 от 24 сентября 2013 г., редакция от 11.09.2021 г.), а автор Дунич Е.А. заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Соискатель имеет 14 (четырнадцать) научных публикаций по теме диссертации, в том числе, 2 (две) работы опубликованы в изданиях, рекомендуемых Высшей Аттестационной Комиссией РФ для публикаций результатов диссертационных исследований, 3 (три)

публикации в изданиях, входящих в международные системы цитирования «Scopus». Большинство работ опубликовано в соавторстве, при этом вклад соискателя был определяющим, а опубликованные результаты получены либо лично соискателем, либо при его непосредственном участии. Материалы диссертации отражены в материалах 9 (девяти) международных и Всероссийских научно-технических конференций.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Кривилев, А. В. Математическое описание функций управления двухфазным вентильным двигателем с двухсекционной фазной обмоткой / А. В. Кривилев, Е. А. Дунич // *Электричество*. – 2021. – № 11. – С. 45-55. – DOI 10.24160/0013-5380-2021-11-45-55

2. Кривилев, А. В. Формирование и аналитическое описание базовых векторов двухфазного вентильного двигателя с двухсекционной фазной обмоткой / А. В. Кривилев, Е. А. Дунич // *Электричество*. – 2021. – № 10. – С. 31-39. – DOI 10.24160/0013-5380-2021-10-31-39.

3. Krivilev, A. V. Time response analysis for two-phase PMSM with two-sectional phase windings / A. V. Krivilev, E. A. **Dunich** // *Journal of Physics: Conference Series* : 11, Moscow, 10–11 Dec 2020. – 2021. – P. 012026. – DOI 10.1088/1742-6596/1958/1/012026.

4. Krivilev, A. Techniques of Armature Magnetic Induction Vectors Forming for Two-Phase Four-Sectional Brushless Direct Current Motor / A. Krivilev, E. **Dunich**, S. Penkin // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2020. – Vol. 1115 AISC. – P. 639-647. – DOI 10.1007/978-3-030-37916-2_61.

5. Krivilev, A. V. Sectional approach to researching of two-phase BLDC motor / A. V. Krivilev, E. A. **Dunich**, S. S. Penkin // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019»*, Krasnoyarsk, 04–06 apr 2019 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 62093. – DOI 10.1088/1757-899X/537/6/062093.

В работе [1] описывается предлагаемый секционный подход к исследованию физических процессов в системе «усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками», представлено математическое описание наборов базовых векторов магнитной индукции якоря двухфазного вентильного двигателя при всех возможных схемах соединения секций фазных обмоток и способах их подключения к источнику питания на межкоммутационном интервале и проведено их сравнение со случаем трёхфазного двигателя с односекционными фазными обмотками.

В работе [2] представлены математические описания вариантов размещения и выходных сигналов датчика положения ротора и функций, управляющих ключевыми элементами четырёхстоечного и четырёхключевого импульсного усилителя мощности при всех возможных схемах соединения секций фазных обмоток двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками в случае простых и комбинированных способов их подключения к источнику питания на межкоммутационном интервале.

В работах [3-5] продемонстрированы основы предлагаемого секционного подхода. В [3] и [4] показана схема замещения двухсекционной обмотки и представлены математические описания наборов базовых векторов двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками; в [3] приведены результаты сравнения кривых переходного процесса по скорости; в [5] выполнено сравнение механических характеристик двухфазного

вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками при несоединённых, последовательных и параллельных секциях.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы — положительные).

Отзыв на диссертацию ведущей организации — акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» (АО «ЦНИИАГ»). Отзыв утверждён генеральным директором АО «ЦНИИАГ», доктором технических наук, доцентом А.Б. Шаповаловым.

В замечаниях по диссертационной работе отмечено следующее:

1. В работе получены результаты для двухфазного и трёхфазного двигателей, однако подробно рассмотрен только двухфазный.

2. В работе не приводятся временные диаграммы сигналов для случая трёхфазного двигателя.

3. Не показано применение предлагаемого подхода и методики на примере конкретного разомкнутого или замкнутого привода.

4. Не полностью раскрыто противоречие между амплитудой пульсаций и к. п. д. в случае четырёхключевого усилителя мощности.

5. При аппаратной реализации лабораторного макета использована зарубежная элементная база, что плохо согласуется с принятым в настоящее время направлением на импортозамещение.

6. В работе отсутствуют результаты исследований на вибрацию и механический резонанс, а также электромагнитную совместимость.

7. На чертежах, показывающих разработанную конструкцию двигателя, не приводятся размеры её элементов.

8. Не в полной мере обоснован выбор аппаратной реализации усилителя мощности и общей компоновки лабораторного макета.

9. Отсутствуют данные о температурном режиме двигателя и допустимой продолжительности его работы.

10. В третьей главе на эпюрах цифровых и аналоговых сигналов не поставлены точки, что приводит к затруднению определения конкретных моментов модельного времени, о которых говорится в тексте.

При всём этом отмечено, что, несмотря на обнаруженные недостатки, в целом, работа Дунича Е.А. выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую комплекс научных исследований и новых решений актуальных проблем в области электротехнических комплексов и систем. Результаты могут быть использованы при разработке новых систем вооружения, повышающих обороноспособность страны. По актуальности темы исследования, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа Е.А. Дунича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к диссертациям, выполняемым на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Дунич Евгений Алексеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 — «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв на диссертацию официального оппонента Горячева Олега Владимировича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Системы автоматиче-

ского управления» (САУ) Института высокоточных систем им. В.П. Грязева федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ):

Отзыв на диссертационную работу заверила ведущий специалист по кадровой работе Полтавец Л.В.

В замечаниях по диссертационной работе указано следующее:

1. При постановке задач исследования высказано предположение о целесообразности исключения из рассмотрения схем соединения секций обмоток, которые предполагают независимое встречное включение секций одной обмотки, поскольку такое включение сопряжено со значительными потерями и, соответственно, низким коэффициентом полезного действия.

2. В таблице 1.2. диссертации представлены различные варианты задействования секций и соответствующие им фазовые вектора (как следует из третьей колонки — это нуль). При этом высказано предположение о целесообразности различения понятий фазового вектора и состояния. Например, фазе с противоположным включением секций соответствует не два возможных фазных вектора, а два различных состояния. Кроме того, для обеспечения общности в таблице не хватает варианта, когда секции управляются независимо друг от друга (тогда это будет независимая фаза, соответствующая рис. 1.1. диссертационной работы).

3. В главе 2 диссертационной работы отсутствует чёткое определение допущений, принимаемых при построении модели мехатронного модуля, в частности, отсутствуют допущения о моделировании и влиянии «мёртвого времени» на характеристики модуля, взаимного влияния различных секций одной обмотки, определения характера распределения вектора магнитной индукции в рабочем зазоре двигателя (синусоидальный или трапецидальный).

4. В главе 3 не указано базовое значение механической мощности двигателя, относительно которого приводятся нормализованные величины.

5. В п.3.3. отмечаются основные параметры эквивалентного двигателя постоянного тока, среди них указывается и электромагнитная постоянная времени. Вместе с тем, далее по тексту, на стр. 92 уже предполагается несущественное влияние электромагнитной постоянной времени и в дальнейших расчётах она не используется. В частности, в модели эквивалентного двигателя постоянного тока на рис. 3.13 индуктивность обмотки якоря отсутствует. Однако для синхронных двигателей средней и большой мощности является характерной значительная величина электромагнитной постоянной времени из-за относительно небольшого числа секций обмотки, которая оказывает существенное влияние на динамические характеристики (и тем более, на предельные динамические характеристики и, соответственно, требуется при построении поверхности предельных динамических состояний исполнительного механизма).

6. Представляется нечёткой методика определения параметров эквивалентного двигателя постоянного тока: коэффициентов по моменту и противо-ЭДС. В частности, на стр. 92 указывается, что величины C_e и C_m определяются из M_n и Ω_{xx} . Однако в первом случае необходимо ещё некоторое значение эквивалентного пускового тока, а во втором — амплитуда напряжения. При этом эквивалентные параметры рассчитываются непосредственно для двигателя постоянного тока, а расчётные значения M_n и Ω_{xx} берутся по результатам работы мехатронного модуля, включающего и импульсный усилитель мощности. В этом случае

необходимо учитывать при расчёте напряжения не только величину $U_{\text{пит}}$, но и величины падения напряжений на открытых ключах.

Сделано заключение о том, что, вышперечисленные замечания не оказывают существенного влияния на научную и практическую ценность представленной диссертационной работы.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией (ВАК) к диссертациям, выполняемым на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Дунич Евгений Алексеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв на диссертацию официального оппонента Соловьева Владимира Алексеевича, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Электротехника и промышленная электроника» (ФН-7) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»:

Отзыв на диссертационную работу заверил начальник управления кадров МГТУ им. Н.Э. Баумана В.А. Барышников.

В замечаниях по диссертационной работе указано следующее:

1. Целью диссертационной работы, как указано в ней, является исследование динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционной фазной обмоткой. Из всех динамических характеристик этого двигателя в ней дан анализ изменения его частоты вращения от времени при пуске и длительность этого процесса. Изменение частоты вращения вентильного двигателя при переводе его с высокой частоты вращения на более низкую, реверсе и останове при осуществлении способов электромеханического торможения в работе не рассматриваются.

2. В работе отмечено, что при применяемом способе управления вентильным двигателем его электромагнитный момент имеет пульсации, т.е. зависит от угла поворота его ротора. Поэтому значение его пускового момента будет зависеть от угла поворота ротора. Неясно, учитывалось это при моделировании кривых изменения частоты вращения при пуске двигателя.

3. Для большей наглядности эпюры коммутационных процессов целесообразно было бы изобразить для одного межкоммутационного интервала.

4. Применяемая автором в работе терминология не всегда соответствует принятой в настоящее время в технической литературе. Так вместо термина «коммутация фазной обмотки» принят термин «задействование фазной обмотки», вместо определения «логические функции» — «булевы функции».

В заключении сказано, что сделанные замечания не снижают общей ценности работы. Диссертационная работа Дунича Евгения Алексеевича «Определение динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками», в которой изложены теоретические и практические результаты исследований статических и динамических свойств двухфазного вентильного двигателя при разных алгоритмах коммутации секций его фазных обмоток, и результаты разработки программного комплекса для исследования коммутационных процессов в этом двигателе, является законченной научно-квалификационной работой, обладает актуальностью, научной новизной

и имеет важное практическое значение для авиационной промышленности. Сделано заключение о том, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Дунич Евгений Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

На автореферат диссертации поступило 10 (десять) отзывов. Все отзывы — положительные.

1. Отзыв на автореферат диссертации заместителя по эксплуатации директора ОКБ - главного конструктора Акционерного общества «Уфимское агрегатное производственное объединение» (АО «УАПО»), доктора технических наук, профессора Мусина Сергея Миргасовича содержит замечания:

1) в автореферате не представлена научная задача и её решение в формализованном виде;

2) не представлено соответствие содержания работы паспорту научной специальности;

3) не представлен личный вклад автора;

4) не представлен вклад автора в научных публикациях, выполненных в соавторстве;

5) при экспериментальных исследованиях программирование программируемых логических интегральных схем осуществлялось на языке SystemVerilog, вследствие чего результаты математического моделирования с применением методологии Matlab и результаты эксперимента не являются инвариантными, т.е. необходимо достаточное физико-математическое обоснование сравнения результатов, что не представлено в автореферате;

б) изложение автореферата содержит значительное количество присоединительного союза «а также», в результате фраза становится не завершённой, уточнение, которое является перечислением, имеет смысл противопоставления.

2. Отзыв на автореферат диссертации главного специалиста отделения систем электроприводов Акционерного общества «Аэроэлектромаш» кандидата технических наук, Трубачева Александра Тимофеевича содержит замечания:

1) не ясно, каким образом, амплитуда пульсаций момента в двухфазном двигателе равна 4 % против 7 % у трёхфазного;

2) переопределение понятия «фаза», требуется объяснить, чем традиционное определение не удовлетворяет соискателя;

3) в работе рассмотрено только дискретное управление при питании секций прямоугольными импульсами, тогда как непрерывное управление с синусоидальным напряжением питания обладает преимуществом по управляемости;

4) характеристики двигателя представлены только для двигательного режима;

5) в работе не представлены данные о массогабаритных показателях используемого двигателя;

б) эпюры рассматриваемых процессов: для лучшего восприятия было бы достаточно одного или половины периода.

3. Отзыв на автореферат диссертации заместителя главного конструктора по системам управления, начальника отделения автоматических систем управления Публичного акционерного общества «Объединённая авиастроительная корпорация» ОКБ им. А.И. Микояна, Заслуженного машиностроителя РФ, доктора технических наук, профессора Оболенского Юрия Геннадьевича содержит замечание:

В автореферате отсутствуют примеры применения предлагаемой методики в контуре регулирования и не приведены частотные характеристики привода при различных схемах соединения секций.

4. Отзыв на автореферат диссертации заместителя управляющего директора – Главного конструктора Акционерного общества «Московский научно-производственный комплекс «Авионика» им. О.В. Успенского» (АО МНПК «Авионика»), кандидата технических наук Абдулина Рапида Раисовича содержит замечания:

- 1) не показано использование предложенного подхода для многофазных машин, а не только для двухфазных;
- 2) рассмотрено только дискретное управление при питании секций прямоугольными импульсами, хотя непрерывное управление с синусоидальным напряжением питания имеет свои особенности;
- 3) характеристики двигателя представлены только для двигательного режима;
- 4) не представлены данные о массогабаритных показателях разработанного лабораторного макета;
- 5) не рассмотрен вариант построения четырёхключевого усилителя мощности с обмоткой, включаемой между ключами, хотя такая схема обладает простотой и надёжностью, вследствие исключения сквозных токов короткого замыкания;
- 6) не рассматриваются восьмистоечные усилители мощности.

Отзыв на автореферат диссертации начальника лаборатории Государственного научно-исследовательского института авиационных систем (ФАУ «ГосНИИАС»), кандидата технических наук Гагарина Сергея Алексеевича содержит замечание:

В диссертации не достаточно исследованы зависимости энергетических характеристик от схемы соединения фаз двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками.

Отзыв на автореферат диссертации доцента кафедры общепрофессиональных дисциплин факультета лётной эксплуатации и управления воздушным движением федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», кандидата технических наук, доцента Чихранова Алексея Валерьевича содержит замечания:

- 1) из автореферата не ясно, как способы формирования наборов базовых векторов позволяют получить минимальные амплитуды пульсаций электромагнитного момента 4 % и 7 % для двухфазного и трёхфазного вентильных двигателей соответственно;
- 2) в названии диссертационной работы указан только двухфазный вентильный двигатель, а в самой работе рассмотрены как двух-, так и трехфазные вентильные двигатели.

Отзыв на автореферат диссертации заместителя главного конструктора ФПО – заместителя начальника отделения по разработке ФПО БКУ КА Московского опытно-конструкторского бюро «Марс» – филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», кандидата технических наук М.Ю. Косинского содержит замечания:

- 1) в автореферате отсутствуют данные о массогабаритных показателях и детализированные результаты моделирования двигателя, что затрудняет оценку полученных в работе характеристик;
- 2) диссертантом не рассматриваются вопросы электромагнитной совместимости двигателя и узлов силовой части привода с другими агрегатами летательного аппарата и опреде-

ляется уровень создаваемых ими помех, возникающих вследствие пульсаций тока секций (пульсаций момента);

3) судя по автореферату, в работе не учитывается возможность перегрузки двигателя вследствие насыщения магнитопровода при одновременном включении всех секций на полный ток.

Отзыв на автореферат диссертации начальника научно-организационного отдела **федерального государственного унитарного предприятия «Научно-технический центр «Орион» Федеральной службы безопасности Российской Федерации (ФГУП «НТЦ Орион»)**, доктора технических наук, доцента **Коньшева Михаила Юрьевича** содержит замечания:

- 1) в автореферате не приводятся массогабаритные характеристики двигателя в разработанном корпусе;
- 2) не рассмотрены альтернативные варианты построения информационной части лабораторного макета;
- 3) не указаны размеры печатных плат силовой части.

Отзыв на автореферат диссертации главного конструктора по системам управления **ЛА ПАО «ОАК» «ОКБ Сухого»**, доктора технических наук, профессора **Константинова Сергея Валентиновича** содержит замечание:

Из автореферата неясно, какие способы коммутации фаз влияют на потери в стали, насыщение магнитопровода, электромагнитную совместимость и механические потери, связанные с вибрацией вала двигателя.

Отзыв на автореферат диссертации главного конструктора **общества с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр «Электромеханические системы» (ООО НТЦ «СИСТЭМ») Рябчунова Андрея Ивановича** содержит замечания:

- 1) из представленного автореферата неясно, проводилось ли сравнение качества регулирования выходных механических параметров электропривода с трёхфазным вентильным двигателем при классическом векторном управлении с абсолютным датчиком угла и предложенном способе управления;
- 2) из представленного описания лабораторного макета неясно, проводилось ли исследование характеристик привода под нагрузкой (в составе макета нет нагрузочной машины и датчика момента нагрузки).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной и практической компетентностью в области электротехнических комплексов и систем в предметной области диссертационного исследования, что подтверждается публикациями в научных изданиях. Оппоненты являются сотрудниками разных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем.

Выбор **Горячева О.В.**, доктора технических наук, профессора, в качестве официального оппонента обосновывается большим количеством научных работ по разработке электроприводов на базе двухфазных и трёхфазных вентильных двигателей, и работы приводов в контуре управления летательных аппаратов. За последние 5 лет **Горячевым О.В.** опубликовано в рецензируемых международных и отечественных журналах 8 статей по профилю диссертации.

Выбор **Соловьева В.А.**, доктора технических наук, доцента, в качестве официального оппонента обосновывается большим количеством работ по исследованию коммутационных процессов в обмотках двигателей и разработке методов управления вентильными двигателями приводов различного назначения. За последние 5 лет **Соловьевым В.А.** опубликовано

в рецензируемых международных и отечественных журналах 14 статей по профилю диссертации.

Выбор ведущей организации акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики», обусловлен тем, что в организации проводятся научно-исследовательские работы в области разработки конструкции электрических машин и повышения эффективности электроприводов систем управления, наведения и навигации летательных аппаратов.

В дискуссии приняли участие члены диссертационного совета: председатель диссертационного совета, д.т.н., ст. научный сотрудник Пенкин Владимир Тимофеевич; д.т.н. Оболенский Юрий Геннадьевич.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана научно обоснованная методика** определения динамических возможностей привода на базе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками, основанная на секционном подходе к формированию наборов базовых векторов магнитной индукции якоря и построению механических и энергетических характеристик системы «импульсный усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками»;

- **предложен подход** к исследованию физических процессов в системе «импульсный усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками» и получению её статических и динамических характеристик;

- **созданы** математические описания наборов базовых векторов магнитной индукции якоря, размещения и выходных сигналов датчика положения ротора и управляющих функций для всех возможных способов формирования наборов базовых векторов;

- **разработана** компьютерная модель мехатронного модуля на базе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками и основанные на ней программные комплексы, предназначенные для автоматизации исследования физических процессов в системе «импульсный усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками» и построения её механических, динамических и энергетических характеристик;

- **выявлены** взаимосвязи между способами задействования секций обмоток, наборами базовых векторов магнитной индукции якоря, статическими и динамическими характеристиками двигателя.

- **выработаны** рекомендации разработчикам приводов.

Понятие импульсного режима, введённое Ю. И. Коневым и дополненное А. В. Кривилёвым, расширено на случай единичного коэффициента заполнения широтно-импульсного сигнала и применяется к каждой секции индивидуально.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **выполнено** развитие теории управления двухфазными вентильными двигателями с двухсекционными фазными обмотками посредством рассмотрения всех физических процессов относительно секции, а не фазы, как делалось ранее;

- **составлено** математическое описание наборов базовых векторов в виде множеств, что позволяет с единых позиций смотреть на формирование базовых векторов для многофазных машин с многосекционными фазными обмотками;

- **показано** применение полиномов Жегалкина для описания функций, управляющих ключевыми элементами импульсного усилителя мощности.

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

- **разработанная** модель мехатронного модуля с двухфазным вентильным двигателем позволяет учитывать наличие двух секций в фазных обмотках и исследовать физические процессы в системе «импульсный усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками» при различных схемах соединения и вариантах подключения секций к источнику питания на межкоммутационном интервале;

- **составленные** программные комплексы базируются на разработанной модели и позволяют автоматизировать исследование физических процессов, в системе «импульсный усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками», а также получение её статических и динамических характеристик с использованием технологии параллельных или распределённых вычислений;

- **разработанное** описание цифрового устройства управления на языке SystemVerilog может быть востребовано при реализации различных способов управления вентильными двигателями в информационном канале следящего привода;

- **сконструированный и изготовленный** лабораторный макет мехатронного модуля на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками может быть востребован при научно-исследовательской работе по совершенствованию и повышению эффективности цифровых алгоритмов управления электроприводами.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедры «Системы приводов авиационно-космической техники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» при подготовке студентов по специальности 24.05.05 «Интегрированные системы летательных аппаратов», специализация 24.05.05.С3 «Системы приводов летательных аппаратов» при чтении лекций, проведении лабораторных работ и курсовом проектировании по дисциплине «Аналоговые, дискретные и микропроцессорные устройства систем приводов», а также дипломном проектировании, что подтверждается актом о внедрении от 18 мая 2022 г.

Результаты диссертационной работы используются в НИР АО МНПК «Авионика» при формировании технических заданий и методик проведения научно-исследовательских работ по созданию и отработке конструкций исполнительных механизмов электромеханических приводов: шассийного электромеханического привода и исполнительных механизмов рулевых приводов, что подтверждается актом о внедрении от 26 мая 2022 г.

Достоверность результатов работы подтверждается корректным применением основных положений теории множеств, электротехники, векторной и булевой алгебры; методов численного решения систем дифференциально-алгебраических уравнений; современной системы компьютерной математики MATLAB; среды моделирования Simulink с пакетом расширения SimPowerSystems, а также строгостью проведения экспериментальных исследований, проведённых в лаборатории кафедры «Системы приводов авиационно-космической техники» МАИ.

Личный вклад соискателя состоит в:

– разработке секционного подхода и схем соединения двигателя с усилителем мощности;

– разработке программной реализации способов формирования наборов базовых векторов на языке Matlab и адаптации программных комплексов, взятых в качестве прототипа, к двухфазному двигателю с двухсекционными фазными обмотками;

- проведении моделирования работы мехатронного модуля и построении временных диаграмм цифровых и аналоговых сигналов;
- проведении расчётов и построении статических характеристик системы «импульсный усилитель мощности — двухфазный вентильный двигатель с двухсекционными фазными обмотками» и «импульсный усилитель мощности — трёхфазный вентильный двигатель»;
- разработке лабораторного макета мехатронного модуля на базе двухфазного двигателя;
- проведении экспериментальных исследований работы мехатронного модуля при различных схемах соединения секций и вариантах задействования фаз;
- подготовке основных публикаций по работе и личном участии в конференциях по тематике исследований.

В ходе защиты диссертации **не было высказано критических замечаний**, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

Диссертационный совет рекомендует в дальнейшем использовать результаты работы соискателя Дунича Е. А. при разработке следящих приводов на основе многофазных вентильных двигателей с многосекционными фазными обмотками, а исследование по данной теме продолжать в направлении создания классификации способов управления вентильными двигателями, расширяемой на произвольное количество фаз и секций фазной обмотки.

Соискатель Дунич Е. А. ответил обстоятельно и аргументированно на все заданные ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 13 сентября 2022 г. **диссертационный совет принял решение:** за решение актуальной научно-технической задачи, имеющей значение для развития теории управления вентильными двигателями – задачи построения систематизации способов формирования наборов базовых векторов, расширяемой на произвольное количество фаз и секций фазной обмотки и позволяющей сравнивать способы по статическим, динамическим и энергетическим характеристикам, присудить Дуничу Евгению Алексеевичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 доктора наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 (ноль) человек, проголосовали: за – 14, против – 0 (нет), недействительных бюллетеней – 0 (нет).

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.07
доктор технических наук,
старший научный сотрудник



Владимир Тимофеевич Пенкин

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.07
кандидат технических наук, доцент



Дмитрий Сергеевич Дежнев

13.09.2022 г.

Начальник отдела у
Т.А. Аникина

12

