

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.082.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24мая 2022 г., № 55

О присуждении Татевосяну Андрею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методы проектирования и разработка тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин в составе электротехнических комплексов» по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» принята к защите 8 февраля 2022 г., протокол № 48 диссертационным советом Д 212.082.06, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ № 552/нк от 23.05.2018 г.

Соискатель Татевосян Андрей Александрович, 02.05.1980 года рождения, в 2002 году окончил ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», диплом инженера с отличием № ИВС 0055510;

в 2005 году окончил очную аспирантуру при ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»;

в 2005 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка и моделирование линейного

магнитоэлектрического привода для испытания вязкоупругих свойств эластомеров» в диссертационном совете, созданном на базе ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет» (диплом №178001 серия КТ).

Работает в должности доцента кафедры «Электрическая техника» в ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Электрическая техника» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Андреева Елена Григорьевна, ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», кафедра «Электрическая техника», профессор.

Официальные оппоненты:

1. **Коняев Андрей Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Электротехника», профессор.

2. **Нейман Владимир Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра «Теоретические основы электротехники», заведующий кафедрой.

3. **Сагтаров Роберт Радилевич**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра «Электромеханика», профессор.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Курбатовым Павлом Александровичем, доктором технических наук,

профессором кафедры «Электромеханика, электрические и электронные аппараты», Киселёвым Михаилом Геннадьевичем, кандидатом технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Электромеханика, электрические и электронные аппараты», указала, что вопросы, рассмотренные в диссертации, являются актуальными. Предложен новый подход по развитию методических и программных решений при проектировании и оптимизации тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами в составе ветроэнергетических установок и линейного магнитоэлектрического привода конкретного назначения. Вынесенные на защиту научные положения обоснованы и соответствуют поставленным целям и решаемым задачам. Практическая реализация методических и программных решений может найти дальнейшее применение в следующих областях: проектирование, исследование и создание энергоэффективных тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами вращательного и возвратно-поступательного движения в составе ветроэнергетических установок без мультипликатора, приводных комплексов длинноходовых поршневых компрессорных и насосных установок, нефтедобывающих насосов с погружными магнитоэлектрическими двигателями. Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Новые научные результаты, полученные соискателем, имеют существенное значение для развития области науки и техники, занимающейся исследованием физических и технических принципов создания и совершенствования силовых и информационных устройств взаимного преобразования электрической и механической энергии, и вносят значительный вклад в развитие страны. Работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а Татевосян Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Соискатель имеет 181 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 112 научных работ общим объемом 36,25 условных печатных листа и авторским вкладом 22,64 условных печатных листа; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS/Web Of Science – 20, объемом 5,5 условных печатных листа и авторским вкладом 3,4 условных печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты – 15, объемом 5,68 условных печатных листа и авторским вкладом 3,9 условных печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по другим специальностям – 3, общим объемом 1,75 условных печатных листа и авторским вкладом 1,01 условных печатных листа; свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ – 15, объемом 5,3 условных печатных листа и авторским вкладом 3,18 условных печатных листа; патентов на полезную модель – 3, объемом 0,87 условных печатных листов и авторским вкладом 0,48 условных печатных листа, патентов на изобретение – 14, объемом 8,81 условных печатных листа и авторским вкладом 5,9 условных печатных листа, работ, опубликованных в материалах и тезисах международных научных конференций–31, общим объемом 9,18 условных печатных листа и авторским вкладом 4,77 условных печатных листа, монографий – 3, общим объемом 4,5 условных печатных листа и авторским вкладом 3,2 условных печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Содержат основные результаты, изложенные в первой главе диссертации:

1. Татевосян А.А. Линейный магнитоэлектрический привод: монография [Текст] /А.А. Татевосян; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 108 с.: ил.

2. Татевосян, А.А. Формирование общего подхода к оптимальному

проектированию высокотехнологических энергоэффективных электротехнических комплексов на основе тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин/А.А. Татевосян, А.В. Бубнов//Омский научный вестник. – 2019. – №6 (168). – С. 46-51.

3. Татевосян, А.А. Выбор оптимальной конструкции, экспериментальное исследование и математическое моделирование магнитного поля низкооборотного синхронного генератора на постоянных магнитах // Омский научный вестник. – 2018. – №6. – С.86-93.

Содержат основные результаты, изложенные во второй главе диссертации:

4. Татевосян, А.А. Оптимизация тихоходного синхронного генератора модульного типа и принцип реализации системы управления напряжением генератора на основе нейронной сети / А.А. Татевосян// Электричество, №7, – 2021, С. 61-70.

5. Татевосян, А.А. Решение задачи оптимального управления магнитоэлектрического привода колебательного движения [Текст]//Омский научный вестник. – 2019. – №4 (166). – С.48-51.

Содержат основные результаты, изложенные в третьей главе диссертации:

6. Татевосян, А.А. Методика формирования численного проекционно-сеточного алгоритма на основе «трехмерного регулярного элемента» для расчета 3D-моделей магнитного поля в цилиндрической системе координат для синхронных магнитоэлектрических машин в составе высокотехнологических электротехнических комплексов [Текст] / А.А. Татевосян, Е.Г. Андреева //Омский научный вестник – 2019. – №6 (168). – С. 40-45.

7. Tatevosyan, A.A Mathematical Description of Solution of the Three-Dimensional Boundary Value Problem for the Stationary Magnetic Field in the Cylindrical Coordinate System /A.A. Tatevosyan, E.G. Andreeva DOI:10.1088/1742-6596/1441/1/012016 // Journal of Physics: Conference Series – 1441(2020) 012016. – P.1-7.

8. Tatevosyan, A.A. Experimental method for identifying high-coercive

permanent magnets / Tatevosyan, A.S., Tatevosyan, A.A., Pedder, V.V., Zaharova, N.V. doi:10.1088/1742-6596/1260/5/052031// Journal of Physics: Conference Series – 1260(2019) 052031. – P.1-7

Содержат основные результаты, изложенные в четвертой главе диссертации:

9. Татевосян, А.А. Моделирование магнитного поля синхронного генератора с постоянными магнитами/ А.А. Татевосян, В.С. Мищенко//Омский научный вестник. – 2016. – №4. – С. 90-93.

10. Татевосян, А.А. Расчет индуктированной ЭДС в витке при относительном движении постоянного магнита с различной формой поперечного сечения/ А.А. Татевосян, Б.И. Огорелков, А.С. Татевосян // Омский научный вестник. – 2014. – №3. – С. 179-183.

11. Татевосян А.А., Татевосян А.С., Бельский А.А., Добуш В.С. Разработка стенда для испытания синхронных генераторов с постоянными магнитами [Текст]// Промышленная энергетика. – 2019. № 12. – С. 57-62.

12. Татевосян А.А., Андреева Е.Г. Разработка, моделирование и экспериментальное исследование синхронного генератора с постоянными магнитами [Текст]// Промышленная энергетика. – 2019. – № 4. 15 – С.20-28.

13. Татевосян А.А. Исследование влияния конструктивных параметров тихоходных синхронных генераторов с постоянными магнитами в составе электротехнических комплексов на их энергетические характеристики [Текст] //Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – №2. –т. 15 – С.15-25.

Содержат основные результаты, изложенные в пятой главе диссертации:

14. Tatevosyan, A.A. Determination of conditions for optimal control of a permanent magnet synchronous motor of a single-stage reciprocating compressor for a proposed law of motion for ensuring the maximum efficiency/A.A. Tatevosyan DOI:10.1088/1742-6596/1901/1/012080// Journal of Physics: Conference Series. – 1901 (2021) 012080. – P. 1-7.

15. Татевосян, А.А. Исследование рабочих процессов

энергопреобразования в магнитоэлектрическом приводе тихоходного одноступенчатого поршневого компрессора на заданный закон движения якоря при обеспечении максимума КПД // Омский научный вестник. – 2020. – №3 (171). – С. 37-41.

16. Татевосян, А.А. Экспериментальная оценка характеристик системы «компрессорная ступень–линейный магнитоэлектрический привод / С. С. Бусаров, А. В. Недовенчаный, И. С. Бусаров, А. О. Жуков.//Омский научный вестник. Серия Авиационно- ракетное и энергетического машиностроение Т.5, №2, –2021, С.59 – 65.

Содержат основные результаты, изложенные в шестой главе диссертации:

17. Татевосян, А.А. Оптимизация тихоходного синхронного генератора модульного типа и принцип реализации системы управления напряжением генератора на основе нейронной сети / А.А. Татевосян// Электричество, №7, – 2021, С. 61-70

18. Татевосян, А.А. Исследование рабочих процессов энергопреобразования в магнитоэлектрическом приводе тихоходного одноступенчатого поршневого компрессора на заданный закон движения якоря при обеспечении максимума КПД // Омский научный вестник. – 2020. – №3 (171). – С. 37-41.

19. Tatevosyan, A.A. Research of heat mode of linear permanent magnet motor for Long –Way one stage piston compressor/A.A. Tatevosyan DOI:10.1088/1742-6596/1791/1/012062 // Journal of Physics: Conference Series. –1791 (2021) 012062. – P. 1-6.

20. Tatevosyan, A.A. Characteristics research of a permanent magnet linear synchronous motor driving piston compressor/A.A.Tatevosyan, D.A. Polyakov, M.A. Kholmov//Proceedings of the 3rd 2021 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2021.3.2021.C. 9387980.

Авторский вклад соискателя состоит в его определяющем участии в получении результатов и подготовке публикаций.

На диссертацию и автореферат поступило 14 отзывов, все отзывы

положительные. В 14 отзывах содержатся следующие замечания:

1) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры электроэнергетики ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» **Гнатыка Виктора Ивановича** имеются следующие замечания:

1. Не указаны параметры для расчета теплового режима на предварительном этапе проектирования.
2. На рис. 18 автореферата (стр. 29) представлен макетный образец разработанного тихоходного синхронного двигателя для привода одноступенчатого длинноходового поршневого компрессора, однако, не представлены его удельные характеристики, что не позволяет сделать сравнительный анализ с известными аналогами.
3. В тексте автореферата не указан диапазон мощностей тихоходных СМППМ, для которых можно применять разработанное программное обеспечение.

2) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Институт нефтепереработки и нефтехимии **Баширова Муссы Гумеровича** имеются следующие замечания:

1. В автореферате не приводятся блок-схемы алгоритмов проектирования синхронных генераторов модульного типа и с общим цилиндрическим магнитопроводом;
2. В автореферате не отражены результаты исследования потерь в магнитопроводе с учетом зубчатости магнитной системы синхронного генератора с общим цилиндрическим магнитопроводом;
3. Из текста автореферата не ясно, достигаются ли системой управления линейного тихоходного магнитоэлектрического двигателя в составе привода одноступенчатого поршневого компрессора условия, при

которых КПД электромеханического преобразователя достигает максимального значения.

3) В отзыве доктора технических наук, доцента, профессора отделения электроэнергетики и электротехники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» **Глазырина Александра Савельевича** и кандидата технических наук, доцента, доцента отделения электроэнергетики и электротехники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» **Кладиева Сергея Николаевича** имеются следующие замечания:

1. В автореферате на стр. 30 рис. 20 приведен принцип управления синхронным генератором с постоянными магнитами модульного типа и функциональная схема системы управления ветроэнергетической установки, где предполагается производить стабилизацию выходного напряжения при изменении скорости ветрового потока в широком диапазоне с помощью переключения отдельных обмоток электрической машины. Данный способ регулирования не представляется удачным в случае, если мощность нагрузки будет существенно меняться. Для согласования генератора с нагрузкой общепринято применять систему экстремального отбора его мощности. Предложенная соискателем схема управления синхронным генератором с постоянными магнитами может оказаться работоспособной, если мощность нагрузки постоянная и обеспечивается необходимый запас по мощности. Автору полезно было бы указать: для каких потребителей электроэнергии предлагается использовать предложенный генератор в составе ветроэнергетической установки.

2. На стр. 31 автореферата рис. 21 представлена система управления линейным магнитоэлектрическим приводом в двух вариантах компоновки: при питании обмотки двигателя выпрямленным напряжением и при питании его от преобразователя частоты с открытым программным кодом. Утверждается, что для оптимального режима работы необходимо, чтобы

временные зависимости тока, перемещения и скорости перемещения совпадали по фазе. Следует отметить, что более удачной была бы формулировка, что требуется совпадение по фазе не самих временных зависимостей тока, перемещения и скорости перемещения, а их первых гармоник, что более корректно.

3. Для подтверждения заявленной автором гипотезы на рис. 23(б) стр. 32 автореферата приведены осциллограммы тока, перемещения и скорости перемещения индуктора из которых видно, что первые гармоники тока и скорости действительно совпадают по фазе. На рис. 23 (а) при питании обмотки машины выпрямленным напряжением показаны только осциллограммы тока и перемещения индуктора, скорость перемещения отсутствует. Возможно гипотеза о совпадении первых гармоник тока, перемещения, а также скорости перемещения выполняется не в полной мере.

4) В отзыве доктора технических наук, профессора кафедры «Электроника и наноэлектроника» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», руководителя НОЦ «Энергоэффективные двигатели двойного питания» **Гуляева Игоря Васильевича** имеются следующие замечания:

1. Не приведен анализ использования современных преобразователей на IGBTмодулях.
2. Рисунки автореферата (Рис.3, 11, 12, 15, 21, 22, 23) практически нечитаемы.
3. Использование обозначения «блок-схема» (Рис. 7 и др.) современными ГОСТами не допускается.
4. В автореферате не отражены вопросы схемотехнических решений для схем измерения показателей.
5. Нет оценки экономической эффективности.
6. В тексте автореферата допущены стилистические ошибки. Имеются замечания редакционного характера. В автореферате имеется ряд

неточных формулировок.

5) В отзыве доктора технических наук, профессора кафедры «Электрооборудования судов и автоматизации производства» ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», **Доровского Владимира Алексеевича** и кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Электрооборудования судов и автоматизации производства» ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет» **Авдеева Бориса Александровича** имеются следующие замечания:

1. Какие достаточные условия оптимальности управляемых процессов для рассматриваемых примеров?

2. Учитывались ли ограничения на ток и частоту вращения при оптимизации параметров тихоходных СМППМ в генераторном и двигательном режимах?

3. Какая перегрузочная способность у тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин?

6) В отзыве доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией математического моделирования в механике, Омского филиала федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт математики им. С.Л. Соболева» СО РАН **Задорина Александра Ивановича** имеются следующие замечания:

1. Предложена модификация метода конечных элементов для решения задачи магнитостатики тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами, но в работе рассматриваются динамические задачи, расчет которых ведется в стороннем прикладном программном обеспечении ANSYS и ELCUT.

2. В диссертации не приводятся подробные технические характеристики разработанного программного обеспечения: требуемый для работы объем памяти, скорость вычислений, требования к процессору и операционной системе. Также не поясняется применением предложенного метода на

многопроцессорных вычислительных системах с использованием параллельных алгоритмов.

7) В отзыве доктора технических наук, профессора Инженерной школы энергетики Томского политехнического университета **Лукутина Бориса Владимировича** имеются следующие замечания:

1. При формулировке научной новизны в пунктах 5 и 6 указываются «методики...», что скорее соответствует практической значимости результата.

2. Рассмотренные принципы управления генераторов «модульного» типа вряд ли имеют практическое значение, поскольку с задачами согласования электромеханической и ветровой составляющих электростанции успешно справляется имеющаяся силовая электроника.

3. Не очевидны преимущества последовательного включения трех однофазных выпрямительных мостов в машине с общим цилиндрическим магнитопроводом: повышение напряжения на 13% (что далеко не всегда полезно), достигается использованием 12 диодов против 6 в трехфазной мостовой схеме.

4. В автореферате встречаются не общепринятые термины: «синхронная магнитоэлектрическая машина с постоянными магнитами», «скорость вращения».

5. Автореферат перегружен математическими преобразованиями, рисунки слишком мелкие, что затрудняет восприятие.

8) В отзыве доктора технических наук, профессора кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» **Немировского Александра Емельяновича** и аспиранта кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» **Голицына Алексея Михайловича** указано, что при прочтении автореферата замечаний не обнаружено.

9) В отзыве доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», декана Энергетического

факультета ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» **Полищука Владимира Иосифовича** имеются следующие замечания:

1. Не ясно, почему автор в заключении, приведенном в пункте 5 на стр. 33, ограничивает область полученных результатов исследований модельным рядом ветровых энергоустановок до 30 кВт.
2. Не раскрыты полностью преимущества предложенных решений по оптимизационным расчетам тихоходных синхронных машин в генераторном и двигательном режимах работы по сравнению с известными методиками.
3. Из текста автореферата не ясно, почему для повышения энергоэффективности синхронного генератора модульного типа используется переключение обмоток. Использование преобразователя, в связи с изменением частоты питающего напряжения при переключении является предпочтительным решением.

10) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электроэнергетические системы и электротехника» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» **Сальникова Василия Герасимовича** имеются следующие замечания:

1. Сколько кандидатских диссертаций защищено под научным руководством соискателя?
2. Рассматривался ли уровни электромагнитной совместимости вновь созданных технических средств (электротехнические комплексы с тихоходными синхронными магнитоэлектрическими машинами) в электрических сетях согласно ГОСТ 32144-2013?
3. Исследовались ли кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи [ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-55-95)], которые могут генерировать в электрическую сеть СМППМ?
4. Оценивалась ли возможность работы тихоходных СМППМ в составе интеллектуальных сетей, построенных на технологии Smart Grid?

11) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Энергетика» ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет» **Сушкова Валерия Валентиновича** имеются следующие замечания:

1. Отсутствует сопоставление результатов решения задачи магнитостатики методом конечных элементов и предложенным методом с использованием введенного в рассмотрение трехмерного «регулярного элемента».
2. Не рассмотрены возможности разработанных экспериментальных стендов для испытания макетных образцов тихоходных СМПИМ, а именно: совместная работа выпрямителя и инвертора, с аккумуляторной батареей, параллельная работа генераторов.
3. Для длинноходового тихоходного синхронного магнитоэлектрического двигателя в составе привода одноступенчатого поршневого компрессора не указываются особенности пускового режима. Предполагается ли специальный алгоритм плавного пуска двигателя?

12) В отзыве доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» **Ковалева Владимира Захаровича** имеются следующие замечания:

1. В автореферате не представлена общая математическая модель тихоходной синхронной магнитоэлектрической машины с учетом уравнений рабочей машины.
2. В автореферате не указывается, каким образом, выполнялся расчет теплового режима электромеханического преобразователя на предварительном этапе проектирования.

13) В отзыве доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электроэнергетика и электромеханика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» **Шпенста Вадима Анатольевича** имеются следующие замечания:

1. Не указано при использовании формулы (7) автореферата как следует учитывать потери в стальном магнитопроводе тихоходной СМПИМ?

2. Из текста автореферата не понятно, каким образом достигается обеспечение расчетного угла сдвига фаз между законом перемещения индуктора и током в обмотке синхронного двигателя?

14) В отзыве доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой, профессора «Робототехника и автоматизация производственных систем» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета **Белова Михаила Петровича** и доцента кафедры «Робототехника и автоматизация производственных систем» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, доцента **Самохвалова Дмитрия Вадимовича** имеются следующие замечания:

1. В разделе автореферата «Методология и методы исследования» написано, что «для решения поставленных задач использовались методы теории электромеханических преобразователей энергии», не совсем ясно какая теория и какие ее методы имеются в виду. Судя по автореферату, в диссертации не используются методы, изложенные в фундаментальной работе Уайта Д., Вудсона Г. «Электромеханическое преобразование энергии» и в работе Копылова И.П., Фрумина В.П. «Электромеханическое преобразование энергии в вентильных двигателях». М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
2. Не совсем понятно назначение рисунков 1,2 в диссертации, из текста неясно каким образом при оптимизации по КПД использованы требования к электротехническим комплексам и классификации характеристик тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами. В изложении не хватает стадии составления рейтинга рассматриваемых показателей и обоснования наивысшей важности такого параметра как КПД. В части компрессоров это вовсе не очевидно: почему КПД важнее надежности.
3. Из автореферата не ясно как оцениваются потери в стали в электромеханических преобразователях и, соответственно, не ясно как в задаче оптимизации учитываются тепловые потери. Уравнение

максимизации КПД не учитывает потери в стали (в знаменателе только электрические потери) и в автореферате отсутствует объяснение такого пренебрежения. В числителе формулы для КПД используется произведение ЭДС на ток, что дает мощность при пренебрежении потерями в стали. Данное пренебрежение является критичным у применимости полученного условия оптимального режима работы, описываемого уравнением (9).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Коняев Андрей Юрьевич доктор технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты», является крупным специалистом в области расчета и проектирования линейных электрических машин, а также систем их управления.

Официальный оппонент доктор технических наук Нейман Владимир Юрьевич по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты» является известным специалистом в области расчета, проектирования, разработки электрических машин возвратно-поступательного движения.

Официальный оппонент Саттаров Роберт Радикович, доктор технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», является крупным специалистом в области моделирования электротехнических комплексов и их систем управления, включающих в свой состав электромеханические преобразователи с постоянными магнитами.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,

является общепризнанным лидером Российской высшей школы по направлению подготовки специалистов в области проектирования и эксплуатации электрических машин.

Все оппоненты и представители ведущей организации имеют публикации по теме диссертации Татевосяна А.А.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методология проектирования тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин в составе электротехнического комплекса конкретного назначения на основе построенной полной математической модели, объединяющей в себе математические модели отдельных подсистем различной физической природы, и ее решение с использованием итеративного процесса, уточняющего заданный в качестве начального приближения закон движения индуктора;

разработаны методы проектирования тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин, учитывающие взаимосвязь конструктивных параметров с энергетическими показателями в соответствии с решением задачи оптимизации на заданный закон движения подвижной части, удовлетворяющей выбранному критерию оптимальности максимуму КПД электромеханического преобразователя, максимуму удельной выходной мощности, максимуму развиваемого удельного электромагнитного усилия, исходя из особенностей рабочего процесса;

разработан метод формирования численного проекционно-сеточного алгоритма для расчетов 2D и 3D математических моделей тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин на основе уравнений магнитного поля путем введения плоского и объемного «регулярного элемента», позволяющий максимально автоматизировать процесс формирования глобальной системы линейных алгебраических уравнений в методе конечных элементов, минуя этап построения «элементных» систем уравнений;

разработаны новые конструктивные схемы тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами, изготовленными в форме диска, прямоугольной призмы и сегмента (аксиальное намагничивание) в электротехнических комплексах генерирования электрической энергии и электропривода возвратно-поступательного движения с учетом научно-обоснованных технических положений и технологических решений, отвечающих общим и специфическим требованиям качества при проектировании магнитоэлектрических машин;

разработаны с использованием предложенных алгоритмов проектирования и оптимизации параметров экспериментальные образцы тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин с общим цилиндрическим магнитопроводом и модульного типа, предназначенные для генерирования электрической энергии в составе ветроэнергетических установок;

разработан с использованием предложенных алгоритмов проектирования и оптимизации параметров тихоходный синхронный магнитоэлектрический двигатель возвратно-поступательного движения, впервые примененный в электротехническом комплексе длинноходовой компрессорной ступени для обеспечения средних и высоких давлений сжатия газа до 2 МПа на ход поршня 0.2 м, развивающий максимальное электромагнитное усилие до 2000 Н;

доказана на примерах новых конструктивных схем достоверность результатов моделирования с использованием разработанного методического и программного обеспечения проектирования и оптимизации параметров тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин вращательного и возвратно-поступательного движения сопоставлением с экспериментальными данными, полученными при экспериментальном исследовании макетных образцов тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин на испытательных стендах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, определяющие методические и программные решения при проектировании и оптимизации параметров тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами, работающими с улучшенными пусковыми и эксплуатационными характеристиками в составе электротехнических комплексов генерирования электрической энергии и электропривода возвратно-поступательного движения;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) методы теоретической электротехники, теории электрических машин, теории электромеханических преобразователей энергии, теории вариационного, дифференциального и интегрального исчисления, теории оптимизации, теории нейронных сетей, численные проекционно-сеточные методы на основе конечно-элементного анализа;

изучено влияние конструктивных параметров тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин с постоянными магнитами в составе электротехнических комплексов генерирования электрической энергии и электропривода возвратно-поступательного движения в зависимости от назначения на максимум КПД электромеханического преобразователя, максимум удельной выходной мощности, максимум удельного электромагнитного усилия.

изучены пути достижения максимально возможных значений КПД электромеханического преобразователя для характерных законов движения индуктора тихоходного синхронного двигателя с постоянными магнитами в исследуемом диапазоне частот до 3 Гц в разработанном и впервые примененном электротехническом комплексе длинноходовой компрессорной ступени с достижением значительного максимального электромагнитного усилия на штоке до 2000 Н.

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

разработаны и внедрены (имеются акты внедрения) методы и алгоритмы расчета оптимальных конструкций тихоходных синхронных электрических машин с постоянными магнитами вращательного и возвратно-поступательного движения в составе электротехнических комплексов генерирования электрической энергии и электропривода в соответствии с выбранными критериями оптимальности, исходя из специфики рабочего процесса. Внедрение осуществлялось в соответствии с планами и заданиями госбюджетных НИР, в частности, в рамках реализуемой в различные годы программы стратегического развития ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», определяющих формирование научно-технического задела по приоритетным направлениям развития науки:

- Исследование эффективных низкооборотных синхронных магнитоэлектрических генераторов (№ гос. регистрации №115072010084 от 20.07.2015);

- Расчет и оптимизация магнитной системы линейного магнитоэлектрического двигателя на заданный закон движения якоря (№ гос. регистрации 01201464564 от 18.06.2014);

- Исследование способов технической реализации эффективных низкооборотных генераторов малой энергетики с использованием возобновляемых источников энергии (№ гос. регистрации №012013769 от 19.12.2013).

Алгоритмы и программы для оптимизации конструктивных параметров магнитных систем тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (г. Омск) по направлению подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и магистров по направлению 13.03.04 «Электроэнергетика и электротехника». Использование указанных результатов позволило повысить качество образовательного процесса;

определены оптимальные конструктивные параметры тихоходного магнитоэлектрического генератора с общим цилиндрическим магнитопроводом

мощностью до 10 кВА при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 1$ для достижения КПД равного 0.94;

определены оптимальные конструктивные параметры тихоходного синхронного двигателя с постоянными магнитами возвратно-поступательного движения в составе электротехнического комплекса для привода длинноходового одноступенчатого поршневого компрессора, развивающего максимальное электромагнитное усилие до 2000 Н при ходе поршня 0.2 м для достижения КПД, равного 0,82 при частоте колебаний индуктора 1 Гц;

создан комплекс имитационных моделей тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами в электротехнических комплексах генерирования электрической энергии и электропривода возвратно-поступательного движения конкретного назначения, позволяющий на этапе проектирования учитывать влияние их конструктивных параметров на энергетические показатели с учетом специфических особенностей рабочего процесса;

созданы экспериментальные образцы тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами вращательного и возвратно-поступательного движения в рамках реализуемой 2012-2014 годы Министерством образования и науки Российской Федерации программы стратегического развития государственных ВУЗов, принятой к участию ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (г. Омск), определяющей формирование научно-технического задела по приоритетным направлениям развития науки «Расчет и оптимизация магнитной системы линейного магнитоэлектрического двигателя на заданный закон движения якоря (№ гос. регистрации 01201464564 от 18.06.2014), «Исследование способов технической реализации эффективных низкооборотных генераторов малой энергетики с использованием возобновляемых источников энергии» (№ гос. регистрации №012013769 от 19.12.2013);

определены перспективы использования разработанных методов на крупных индустриально-энергетических комплексах Российской Федерации;

представлены практические рекомендации и методические материалы по проектированию тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами в составе ветроэнергетических установок и линейного электропривода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированных контрольно-измерительных приборах и оборудовании ведущих мировых производителей, особенностью испытательных стендов для снятия характеристик опытных образцов тихоходных синхронных генераторов с постоянными магнитами (СГПМ) модульного типа и с общим цилиндрическим магнитопроводом является энергетическая установка, содержащая частотный преобразователь, электромеханическую систему АД – СГПМ, втулочно-пальцевую муфту, нагрузочный реостат. Испытательный стенд для снятия характеристик опытного образца тихоходного синхронного двигателя с постоянными магнитами представляет собой электротехнический комплекс, состоящий из регулируемого стабилизированного источника постоянного напряжения, двигателя возвратно-поступательного движения, тихоходного длинноходового одноступенчатого поршневого компрессора, механической муфты, ресивера, системы управления, датчиков измерения тока, напряжения, температуры, давления, перемещений;

теория построена на известных положениях теоретической электротехники, электрических машин, математическом аппарате численных методов исследований, решениях оптимизационных задач, методе конечных элементов, согласуется с известными из литературных источников данными и с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов;

идея базируется на: учете взаимосвязи конструктивных параметров тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин в составе электротехнических комплексов генерирования электрической энергии и электропривода с энергетическими показателями работы, определяемой из решения задачи оптимизации, доставляющей максимум КПД

электроmechanического преобразователя, максимум удельной полезной мощности, максимум удельной электромагнитной силы, выбираемых исходя из специфических особенностей рабочего процесса; разработке метода формирования численных проекционно-сеточных трехмерных моделей магнитного поля путем введения «регулярного элемента» для уточнения параметров электрических машин, полученных на предварительной стадии, сократив тем самым временные и материальные затраты на проектирование; верификации результатов моделирования с экспериментальными данными макетных образцов тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин, полученными на испытательных стендах;

использовано сравнение авторских данных, полученных на испытательных стендах экспериментальных образцов тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин с данными, полученными с другими исследователями по рассматриваемой и смежной тематикам;

установлено количественное совпадение полученных при математическом моделировании результатов расчета эксплуатационных и пусковых характеристик тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами с результатами экспериментальных исследований макетных образцов машин на испытательных стендах;

использованы современные методы имитационного и математического моделирования на основе пакетов прикладных программ Matlab 2019, Elcut 6.1, Ansys2019 R3, а также авторских программных продуктов, выполненных в программных пакетах Borland Delphi 7.0 и Java.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах получения результатов, которые представлены в диссертации и отражены в публикациях при участии автора. Соискателем совместно с научным консультантом поставлены цель и задачи исследования. Сформулированы научная проблема и теоретические положения разработки методологии проектирования и создания тихоходных магнитоэлектрических машин в составе электротехнических комплексов генерирования электрической

энергии и электропривода возвратно-поступательного движения, которые нашли свою реализацию в методических и программных решениях для достижения максимума КПД электромеханического преобразователя, максимума удельной полезной мощности, максимума удельного электромагнитного усилия.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

От оппонента Коняева А.Ю.:

1. В работе в качестве объектов исследования рассматриваются синхронные генераторы для ВЭУ и линейные двигатели возвратно-поступательного движения. Что объединяет в диссертации столь разные электрические машины?

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

Объединяющими признаками рассматриваемых в диссертации электрических машин являются один и тот же класс низкоскоростных электромеханических преобразователей с высококоэрцитивными постоянными магнитами, служащими для возбуждения магнитного потока; один и тот же метод решения задачи оптимизации параметров тихоходных СМППМ в режиме генератора и двигателя, основанный на получении в аналитическом виде уравнений взаимосвязи конструктивных параметров электрической машины с энергетическими показателями с учетом специфических особенностей рабочего процесса.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Татевосяна А.А. в научно-исследовательских институтах и лабораториях, проектных организациях, занимающихся исследованием и разработкой тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин в составе ветроэнергетических установок (ВЭУ) и линейного магнитоэлектрического привода (ЛМЭП) возвратно-поступательного движения. Полученные в диссертационной работе алгоритмы управления и библиотеки

программных модулей, конструктивные схемы СМППМ, методики оптимизации конструкций, а также методики идентификации постоянных магнитов могут быть взяты за основу предприятиями, специализирующимися на разработке и внедрении СМППМ в составе ВЭТК: НПК «Криогенная техника» (г. Омск), ПАО Россети АО «Янтарьэнерго» (г. Калининград) и др.

Разработки по внедрению «трехмерного регулярного элемента» для расчета магнитного поля в цилиндрической системе координат могут быть использованы предприятием ООО «Тор» в программном обеспечении Elcut (г. Санкт-Петербург).

Результаты диссертационного исследования Татевосяна А.А. могут быть использованы в ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт» (г. Москва), ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (г. Казань), ФГБОУ ВО НИУ «Московский авиационный институт» (г. Москва), ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (г. Санкт-Петербург), ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (г. Новосибирск), ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» (г. Чебоксары), ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ» (г. Казань), ЗАО «МППОТК» «Технокомплект»(г. Дубна), АО «Чебоксарский электроаппаратный завод» (г. Чебоксары), ООО «Техмаш-Энерго» (г. Екатеринбург), ГК «ЭнергоПроф» (г. Казань) и др.

Теоретические положения и практические аспекты разработки ВЭТК на основе тихоходных СМППМ будут полезны в образовательном процессе ВУЗов при подготовке бакалавров и магистров, а также научно-педагогических кадров высшей квалификации по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

Автором диссертации предложены новые технически обоснованные решения, вносящие существенный вклад в развитие теории электромеханического преобразования энергии для тихоходных СМПМ в составе электротехнических комплексов с учетом особенностей их рабочего процесса и законов управления. В диссертации разработаны теоретические, методические и технические решения, внедрение которых можно рассматривать как значительный вклад в развитие научного направления, связанного с разработкой тихоходных СМПМ малой мощности для различных условий эксплуатации ВЭУ и ЛМЭП, в задачах создания прецизионных испытательных стендов и поршневых компрессорных ступеней, применяемых в ТЭК.

На заседании 24 мая 2022 года протокол № 55 диссертационный совет Д 212.082.06 за новые, научно обоснованные технические, технологические решения для тихоходных синхронных магнитоэлектрических машин вращательного и возвратно-поступательного движения в составе электротехнических комплексов конкретного назначения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, принял решение присудить Татевосяну Андрею Александровичу ученую степень доктора технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

При проведении тайного голосования диссертационный совет Д 212.082.06 в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – нет.

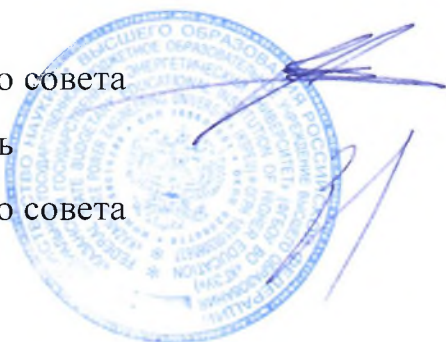
Председатель

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета

24 мая 2022 года



Ваньков Юрий Витальевич

Зиганшин Шамиль Гаязович