

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д212.217.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10 декабря 2019 г. № 12

О присуждении Иванникову Юрию Николаевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергетической эффективности активного электромагнитного подшипника» по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» – принята к защите 01 октября 2019г., протокол № 7, диссертационным советом Д212.217.04, созданном на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования РФ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, приказ Минобрнауки РФ №105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Иванников Юрий Николаевич 1991 года рождения. В 2015 году окончил с отличием магистратуру ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет». С 2015 по 2019 год освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г.Самара. Работает старшим преподавателем кафедры электромеханики и автомобильного электрооборудования ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара.

Диссертация выполнена на кафедре «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – д.т.н., доцент Макаричев Юрий Александрович, заведующий кафедрой «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г.Самара.

### **Официальные оппоненты:**

1. Ганджа Сергей Анатольевич, д.т.н., доцент, декан энергетического факультета, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)» г. Челябинск.

2. Вавилов Вячеслав Евгеньевич – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник кафедры «Электромеханика», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном к.т.н., и. о. заведующего кафедрой «Электромеханика, электрические и электронные аппараты» Киселевым Михаилом Геннадьевичем, к.т.н., старшим преподавателем кафедры «Электромеханика, электрические и электронные аппараты» Курбатовой Екатериной Павловной, д.т.н., профессором кафедры «Электромеханика, электрические и электронные аппараты» Курбатовым Павлом Александровичем и утвержденном проректором по научной работе д.т.н. Драгуновым Виктором Карповичем, указала, что диссертационное исследование представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему повышения энергетической эффективности активных электромагнитных подшипников за счет снижения наиболее значимых потерь, выделяемых в их активных частях. Опубликованные работы и выступления автора на научных мероприятиях полностью соответствуют теме диссертации по содержанию и выводам, что подтверждает личный вклад автора. Иванников Юрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Соискатель имеет 11 опубликованных по теме диссертации работ, в том числе 5 работ в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также статью, индексированную в базе Scopus.

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

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

1. **Иванников Ю.Н.** Постановка задачи численного моделирования газодинамических процессов охлаждения электромагнитных подшипников ГПА / Ю.Н. Иванников, Ю.А. Макаричев // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки» №4(60) – 2018. С.102-112.
2. Макаричев Ю.А., **Иванников Ю.Н.** Моделирование температурных полей радиального электромагнитного подшипника // Вестник СамГТУ. Серия «Техни-

ческие науки» №3(43) – 2014. С.139-145.

3. Макаричев Ю.А. Моделирование нестационарного магнитного поля в электромагнитных подшипниках высокоскоростных электрошпинделей / Ю.А. Макаричев, А.В. Стариков, **Ю.Н. Иванников** // Вестник МГТУ «Станкин» «Информатика, вычислительная техника и управление» №3(38) – 2016. с. 87-91.
4. Макаричев Ю.А. Анализ характеристик электромеханического стартера газотурбинной установки / Ю.А. Макаричев, Ю.В. Зубков, **Ю.Н. Иванников**, И.В. Гуляев // Электротехника №7 – 2019. С. 24 – 32.
5. Макаричев Ю.А., Зубков Ю.В., **Иванников Ю.Н.** Исследование тепловых процессов автономного генератора совмещенного типа методом моделирования температурных полей // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». 2015. №4(48) . С.93-100.
6. Low - power wind generator / A.S. Anufriev, **Yu. N. Ivannikov**, [et al] // International Conference on Information Networking Volume 2018-January, 19 April 2018, Pages 671-672. 32nd International Conference on Information Networking, ICOIN 2018; Holiday Inn Chiang Mai Chiang Mai; Thailand; 10 January 2018 - 12 January 2018.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От ведущей организации – ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва. Наиболее существенными замечаниями является то, что автор не поясняет, как учитывается в расчетах система управления активным электромагнитным подшипником (АЭМП) и ненормальные режимы работы подшипника, а также способы оценки их энергетической эффективности.

2. От официального оппонента Ганджи С.А. – д.т.н., доцента, декана энергетического факультета, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)», г. Челябинск. Наиболее существенным замечанием является то, что автор не включил в исследование системы с высококоэрцитивными постоянными магнитами и не описал, каким образом происходит демпфирование колебаний ротора при внешних динамических воздействиях и резонансных явлениях. В работе отсутствуют «инженерные» методики проектирования АЭМП.

3. От официального оппонента Вавилова В.Е. – к.т.н., доцента, ведущего научного сотрудника кафедры «Электромеханика», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа. Наиболее существенное замечание – допущение, что коммутирующие ключи являются идеальными, требует

уточнения, а так же, при оценке аэродинамических потерь не учитывается изменение вязкости, плотности и давления воздуха под действием температуры.

4. От к.т.н., заведующего кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Доманова В.И. ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г.Ульяновск. Основное замечание: не ясно, есть ли возможность конструктивно снизить основную долю магнитных потерь?

5. От к.ф.-м.н., доцента Седова В.А. зав. кафедрами «Теоретические основы электротехники» и «Электрооборудования и автоматики судов», д.т.н., профессора, профессора кафедры «Электрооборудования и автоматики судов» Веревкина В.Ф. ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского», г.Владивосток. Основное замечание – в выражениях для граничных условий не пояснены переменные, входящие в них, и не указан тип стали для испарительной системы.

6. От к.т.н., доцента Кралина А.А., зав. кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» и д.т.н., профессора кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Смирнова А.Ю. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г.Нижний Новгород. Основные замечания заключаются в том, что в автореферате не представлены расчеты грузоподъемности ЭМП, и неудачным для работы по электромеханике является использование термина «цапфа» вместо обычного «ротор».

7. От д.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Электропривод и электротехника» Макарова В.Г. и к.т.н., доцента Цвенгера И.Г. ФГБОУ ВО «Казанский исследовательский технологический университет», г.Казань. Основное замечание заключается в том, что из автореферата не ясно, учитывалось ли насыщение магнитной системы, и как осуществляется привязка высших гармоник к основной?

8. От к.т.н., доцента кафедры «Электротехнические комплексы и системы» Бутакова В.М. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г.Казань. Замечание: из автореферата не ясно, как определяется энергоэффективность в динамических режимах нагрузки.

9. От д.т.н., профессора Вахниной В.В. зав. кафедрой «Электроснабжение и электротехника» и д.т.н., доцента, профессора кафедры «Электроснабжение и электротехника» Кувшинова А.А., ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти. Замечание: способна ли несинусоидальность индукции в воздушном зазоре оказывать влияние на возникновение собственных вибраций ротора?

10. От д.т.н., доцента, профессора кафедры «Промышленная электроника» Пев-

чева В.П. ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти. Замечаний нет.

11. От д.т.н., доцента, зав. кафедрой «Электромеханика» Серикова А.В., доцента кафедры «Промышленная электроника», к.т.н. Ульянова А.В., ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре. Замечание: в автореферате не раскрыта физическая суть термина «магнитное трение».

12. От д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» Харламова В.В., к.т.н., доцента, доцента кафедры «Электрические машины и общая электротехника» Москалева Ю.В., ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск. Замечания: из автореферата не ясно, сколько высших гармоник магнитного потока необходимо учитывать при расчете потерь, и почему возрастают потери в обмотках при профилировании полюсов?

13. От д.т.н., профессора кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Артюхова И.И. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г.Саратов. Основное замечание – в автореферате не приводится количественная оценка эффекта от замены традиционных подшипников на АЭМП.

14. От д.т.н., доцента, профессора кафедры «Электрическая техника» Хамитова Р.Н., ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г.Омск. Замечания: в автореферате не отражено, как работает система управления АЭМП, какой профиль полюсов является оптимальным, и в какой мере можно повысить грузоподъемность и энергоэффективность подшипников за счет профилирования полюсов?

15. От к.т.н., доцента, доцента кафедры «Технология машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов» Кравцова А.Г., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». Основные замечания: в автореферате не представлена компьютерная модель и как в ней учитываются изменения нагрузки? Имеются замечания редакционного плана по оформлению ссылок и рисунков.

16. От д.т.н., профессора, Павленко А.В. - заведующего кафедрой «Электромеханика и электрические аппараты» и к.т.н., Батищева Д.В. доцента кафедры «Электромеханика и электрические аппараты» Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова, г. Новочеркасск. Основные замечания: как оценивалось влияние массивов ЭМП на его быстродействие и в как определялись границы применения численной модели?

**Все отзывы положительные**, в них отмечается актуальность, новизна исследований и практическая значимость работы, а также то, что Иванников Ю.Н. заслужи-

вает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается их высокой научной компетентностью в области анализа и синтеза активных электромагнитных подшипников и в предметной области диссертационного исследования, что подтверждается научными публикациями.

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

*разработаны*

- уточненная методика аналитического расчета потерь в электромагнитах АЭМП, отличающаяся учетом потерь от высших пространственных и временных гармоник поля, а также добавочных магнитных потерь, вызванных откликом системы на возмущающее воздействие от вибраций ротора;

- трехмерная математическая модель газодинамических и тепловых процессов в радиальном АЭМП, отличающаяся учетом турбулентности потоков охлаждающего агента;

- предложена методика расчета теплового поля радиального АЭМП нагнетателя ГПА с учетом комплекса электромагнитных и газодинамических процессов, происходящих при его работе;

- доказана перспективность применения предложенных автором мер по снижению наиболее значимых видов потерь и эффективных способов интенсификации охлаждения электромагнитов АЭМП;

- определено аналитическим методом и методом численного моделирования оптимальное значение величины увеличения воздушного зазора под краем полюсов, обеспечивающее минимальное значение основных магнитных потерь в роторе.

*Новых понятий не вводилось.*

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что**

*доказаны:*

- корректность математических моделей электромагнитных, тепловых и газодинамических процессов в электромагнитах АЭМП газонагнетателя;

*применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс основных существующих методов решения полевых задач, в том числе численных методов, имеющих программную реализацию в Ansys Maxwell, для математиче-*

ского моделирования электромагнитных, тепловых и газодинамических полей исследуемого АЭМП и исследования его тепловых режимов;

*изложены* способы повышения энергетической эффективности АЭМП при проектировании, заключающиеся в снижении наиболее значимых потерь за счет конструктивных решений и применения интенсивных методов охлаждения магнитов;

*изучена* взаимосвязь показателей надежности обмоток с локальными перегревами их частей и способы исключения этих перегревов;

*проведена* модернизация существующих математических и компьютерных моделей активного электромагнитного подшипника, обеспечивающая снижение их погрешности для установившихся и переходных тепловых процессов.

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

*разработана и внедрена:*

- математическая модель электромагнитного подшипника СУМП-М «Неман-100» газонагнетателя ГПА-16 «Волга» на КС-22 «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ НИЖНИЙ НОВГОРОД», разработанная с участием автора, позволила повысить точность позиционирования ротора, уменьшив амплитуду его виброперемещений до 20 мкм (при допустимом значении 100 мкм), и за счет этого увеличить надежность агрегата и сократить число плановых и аварийных простоев ГПА;

*определены* перспективы практического использования теоретических результатов работы при создании новых и модернизации работающих АЭМП нагнетателей ГПА;

*представлены* рекомендации по дальнейшему внедрению результатов работы и повышению энергетической эффективности АЭМП различного назначения и грузоподъемности.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*теория* исследования энергоэффективности активного электромагнитного подшипника построена на известных, проверяемых результатах, не противоречит имеющимся теоретическим и экспериментальным данным и согласуется с опубликованными данными других авторов по теме диссертации;

*идея* базируется на анализе теории и практики, обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых, работающих в области исследования электромагнитного подвеса роторов;

*использовано* сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

*установлено* качественное и количественное совпадение полученных автором результатов с результатами, полученными ранее другими учеными по рассматриваемой тематике, а также с результатами численного моделирования;

*использованы* современные методы обработки исходной информации, полученной в результате математического моделирования, численного расчета магнитного, теплового и газодинамических полей.

**Личный вклад** состоит в разработке математических и имитационных моделей, апробации результатов исследования, разработке методики расчетов, алгоритмов программ, обобщении и анализе результатов.

На заседании 10 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Иванникову Юрию Николаевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.09.01. – «Электромеханика и электрические аппараты» за решение научной задачи, направленной на повышение эффективности активных электромагнитных подшипников, имеющей важное значение для развития электромеханики.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени - 16, против присуждения учёной степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета Д 212.217.04

Стариков Александр Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета Д 212.217.04

Стрижакова Елена Владимировна

10 декабря 2019 г.

