

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 212.217.04, 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 28 декабря 2021 г., №_9_

О присуждении Занегину Сергею Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование потерь в ВТСП обмотках электрических машин» по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты» принята к защите 26 октября 2021 года (протокол № 6) диссертационным советом Д 212.217.04, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки России, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, приказ №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Занегин Сергей Юрьевич 06 апреля 1988 года рождения.

В 2011 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (НИУ) «МАИ» по специальности «Управляющие, пилотажно-навигационные и электроэнергетические комплексы летательных аппаратов». С 2016 г. по 2020 г. обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский авиационный институт (НИУ) «МАИ», г. Москва. В настоящее время работает в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной промышленности» (г. Москва) в должности старшего инженера.

Диссертация выполнена на кафедре 310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – д.т.н., с.н.с., зав. кафедрой «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» Ковалев Константин Львович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), г. Москва.

Официальные оппоненты:

1. Курбатов Павел Александрович, д.т.н., проф. кафедры «электромеханики, электрических и электронных аппаратов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва;
2. Дегтяренко Павел Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с., федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН), г. Москва, дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина» (ИГЭУ), г. Иваново, в своем положительном заключении, подготовленным д.т.н., проф. кафедры «Электромеханика» Тихоновым Андреем Ильичем, подписанном к.т.н., и.о. зав. кафедрой «Электромеханика» Нестеровым Сергеем Александровичем и утвержденным проректором по научной работе Тютиковым Владимиром Валентиновичем, указала, что диссертационная работа Занегина Сергея Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой. Автором решена актуальная научно-техническая задача анализа и определения потерь в обмотках электрических машин на основе ВТСП лент второго поколения при питании их переменными синусоидальными и несинусоидальными токами разной частоты, формы и амплитуды, в том числе с использованием высокочастотной импульсной модуляции напряжения. Научные и практические результаты диссертации обоснованы и достоверны, являются новыми и значимыми, имеют важное значение для электромеханики и электрических аппаратов. Занегин Сергей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Соискатель имеет 24 печатных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них 5 статей в журналах, входящих в международную систему цитирования Scopus и 2 в Перечень ВАК. 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. Zanegin, S.; Ivanov, N.; Zubko, V.; Kovalev, K.; Shishov, I.; Shishov, D.; Podguzov, V. Measurements and Analysis of AC Losses in HTS Windings of Electrical Machine for Different Operation Modes. Appl. Sci. 2021, 11, 2741.

2. Zanegin, S.; Zubko, V.; Fetisov, S.; Vysotsky, V. AC Losses Analysis in stack of 2G HTS tapes in a coil. Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1559, 1, 012115.
3. Zanegin, S.; Ivanov, N.; Shishov, D.; Shishov, I.; Kovalev, K.; Zubko, V. AC losses test of HTS racetrack coils for HTS motor winding. Journal of Physics: Conference Series. 2020, 1559, 12142.
4. Zanegin, S.; Ivanov, N.; Zubko, V.; Kovalev, K.; Shishov, I.; Podguzov, V. Losses analysis of HTS racetrack coil operating in an external magnetic field. 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2020, 20212173.
5. Zanegin S, Ivanov N, Shishov D, Shishov I, Kovalev K, Zubko V Manufacturing and Testing of AC HTS-2 Coil for Small Electrical Motor// Journal of Superconductivity and Novel Magnetism–2019– DOI: 10.1007/s10948-019-05226-1.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ведущей организации ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина» (ИГЭУ), г. Иваново. Замечание: «Не представлены методики численного расчета увеличения потерь в ВТСП обмотках электрических машин переменного тока при наличии внешнего магнитного поля и при импульсном модулировании питающего напряжения»;

2. официального оппонента д.т.н., проф. Курбатова П.А. Наиболее существенным замечанием является то, что полезно сделать более четкие сопоставительные выводы о качественных и количественных характеристиках потерь при протекании тока в одиночной ленте и катушке из ленты;

3. официального оппонента к.ф.-м.н. Дегтяренко П.Н. Наиболее существенное замечание: «В диссертации не обсуждается, чем обусловлен выбор частот, на которых проводились исследования»;

4. д.т.н., проф., зав. кафедрой «Электропривод и мехатроника» Григорьева М.А. и преподавателя Савостеенко М.В. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Замечание – не указаны границы применимости предложенной модели расчета потерь;

5. д.т.н., директора ОКБ АО «Уфимское агрегатное производственное объединение» Каля В.А., г. Москва. Наиболее существенное замечание: «Организация факторного эксперимента по определению уровня потерь в обмотках из лент SuperOx и AMSC осуществлялась экспертно без достаточного физико-математического обоснования»;

6. к.т.н., главного специалиста Куприянова А.Д., АО «Аэроэлектромаш», г. Москва. Наиболее существенное замечание: «Не ясен практический смысл, изображенного на

рисунке 5, расположения лент. Широко применяемые двойные галеты имеют чётное число «стопок»»;

7. д.т.н., проф. кафедры «Электромеханика и электрические аппараты» Лобова Б.Н. ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск. Замечание: «В автореферате отсутствуют рекомендации по снижению потерь в ВТСП обмотках и использованию результатов проведенных исследований при разработке электрических машин»;

8. к.т.н., зав. кафедрой «Электромеханика» Вавилова В.Е. федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа. Наиболее существенное замечание: «В автореферате недостаточно полно описаны допущения, принятые при разработке численных моделей»;

9. д.т.н., начальника конструкторско-исследовательского отдела Захарова А.В. ПАО «Научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт электромашиностроения», г. Владимир. Наиболее существенное замечание: «Не показана методика исследования и экспериментальные результаты влияния ориентации внешнего магнитного поля на ток ВТСП ленты»;

10. к.т.н., доц., зав. кафедрой электротехники и электрических машин Кашина Я.М. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Наиболее существенное замечание: «Упомянуто о разработке и изготовлении намоточного станка и технологии изготовления ВТСП катушек, однако, из автореферата не ясно какой вклад внесен автором при этом»;

11. д.т.н., ведущего научного сотрудника Кривых А.В. национального исследовательского центра «Курчатовский Институт», г. Москва. Замечание: «Не приведены данные о размерах и массе криогенной системы, которая может быть использована для охлаждения рассматриваемого типа машин»;

12. член-корр. РАН, д.ф.-м.н. Павленко А.Н., с.н.с федерального государственного бюджетного учреждения Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Замечание: «Желательно прокомментировать, насколько потери на переменном токе в 2G ВТСП лентах, стопках и обмотках на их основе и соответствующие значения критической плотности тока чувствительны к изменению температуры азота в охлаждаемой камере».

13. д.т.н., заместителя научного руководителя Сытникова В.Е., АО "НТЦ ФСК ЕЭС", г. Москва. Замечание: утверждает, что создание электрических машин с высокой удельной мощностью «... возможно только с использованием ВТСП проводников.» Нет сравнения с вариантом использования более дешевых НТСП проводников.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность, новизна исследований и практическая значимость работы, а также то, что Занегин Сергей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и опытом работы в области прикладной сверхпроводимости, а также публикациями по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- методика численного расчета потерь в катушках обмоток электрических машин из ВТСП ленты второго поколения, отличающаяся учетом нелинейной зависимости сопротивления в тонком сверхпроводящем слое от плотности тока, критической плотности тока от величины и направления внешнего магнитного поля, неоднородности критической плотности тока по ширине ВТСП слоя ленты и магнитных свойств подложки;
- уникальные экспериментальные стенды и методики обработки результатов, позволяющие проводить измерения потерь в катушках из ВТСП ленты при питании их токами различной формы и частоты, полученными, в том числе при помощи высокочастотной модуляции;

предложена математическая модель для расчета и анализа потерь в обмотках и стопках 2G ВТСП лент, отличающаяся учетом несинусоидальности тока и воздействия внешних магнитных полей;

доказана: адекватность разработанной конечно-элементной модели электромагнитных процессов для анализа потерь в ВТСП ленте второго поколения.

новых понятий не вводилось.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказаны: адекватность разработанной численной модели для расчета потерь в стопках и катушках из 2G ВТСП лент;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы различные методы электродинамики, электромеханики и прикладной сверхпроводимости; численные методы решения уравнений в частных производных (метод конечных элементов), показавшие хорошее совпадение с экспериментальными данными;

изложен метод исследования и анализа потерь в катушках из 2G ВТСП лент при питании их синусоидальным и несинусоидальным током различной формы и частоты;

изучено влияние условий работы ВТСП катушки (отдельная катушка, система катушек с общим магнитопроводом, присутствие внешнего постоянного и переменного магнитного поля) на величину потерь в катушке;

проведена адаптация математических моделей, алгоритмов, численных методов, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации

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

разработаны и внедрены:

– методика измерения потерь в ВТСП лентах второго поколения и стопках ВТСП лент;

– технология изготовления рейстречковых катушек для ВТСП обмоток электрических машин;

– численный метод расчета потерь на переменном токе в ВТСП лентах второго поколения, стопках ВТСП лент и ВТСП обмотках электрических машин;

определены перспективы практического использования теоретических результатов исследования при разработке нового поколения авиационных электрических машин с использованием технологии ВТСП;

создан при участии автора специализированный намоточный станок ВТСП катушек типа двойной рейстрек, эффект от использования которого подтвержден Актом внедрения;

представлены методические рекомендации по исследованию потерь в 2G ВТСП лентах с немагнитной и магнитной подложкой, стопках и катушках на их основе;

установлено, что для повышения точности результатов расчета потерь необходимо использование математической модели, учитывающей неравномерность плотности тока по ширине ленты, и её зависимость от вектора магнитного поля. Даны рекомендации по параметрической идентификации модели.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ: результаты получены с применением сертифицированного оборудования кафедры 310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». Обработка данных осуществлялась с использованием программного комплекса «Matlab»;

теория построена с использованием корректного математического аппарата и обоснованных допущений. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и полученных результатов базируется на доказанных и корректно

использованных выводах математического анализа, сравнении результатов компьютерных расчетов и экспериментальных данных;

идея базируется на обобщении и дальнейшем развитии передового опыта зарубежных и российских ученых, работающих в области прикладной сверхпроводимости;

использовано сравнение авторских экспериментальных и расчетных данных, а также данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике из независимых источников;

установлено качественное совпадение авторских результатов по исследованию потерь в ВТСП обмотках электрических машин с результатами, представленными в независимых источниках;

использованы современные методы обработки теоретических и экспериментальных данных, полученных в результате математических расчетов и натуральных экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в разработке двухмерной численной модели для расчета потерь на переменном токе в высокотемпературных сверхпроводящих (ВСТП) лентах второго поколения, стопках ВСТП лент и ВТСП обмотках, разработке экспериментальной методики измерения потерь в ВСТП лентах второго поколения, стопках ВСТП лент и ВТСП обмотках электрических машин, а также в создании и апробации технологии изготовления ВТСП катушек типа рейстрек для обмоток электрических машин.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. в заключении диссертации не представлены количественные значения потерь в ВТСП стопках и катушках (Гуляев И.В.);
2. в диссертации не приведено определение критической плотности тока в сверхпроводниках, не представлен физический смысл фазовой диаграммы (Стариков А.В.);
3. в диссертации приведено излишне большое количество экспериментальных данных, но не уделено достаточное внимание теоретическим моделям, описывающим потери в ВТСП лентах, ВТСП стопках, ВТСП катушках при питании их переменным током различной формы (Макаричев Ю.А.).

Соискатель Занегин С.Ю. ответил и частично согласился с замечаниями на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. в заключении диссертации представлены количественные значения потерь для обмоток испытанной ВТСП машины на уровне 10-100Вт в зависимости от режима работы;

2. определение критической плотности тока не представлено ввиду того, что работа посвящена работе ВТСП на переменном токе. Также рассматривалась работа сверхпроводника при одной температуре 77 К;
3. с замечанием согласился.

На заседании 28 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Занегину С. Ю. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты», за решение научной задачи по разработке экспериментальных методик и численных алгоритмов для определения и анализа потерь в 2G ВТСП обмотках электрических машин, работающих в различных нестационарных режимах, имеющей важное значение для развития электротехники.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов 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 ученой степени - 17, против - 0.

Председатель

диссертационного совета
Д 212.217.04, д.т.н.

Стариков Александр Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного
Д 212.217.04, к.т.н.

Стрижакова Елена Владимировна

28 декабря 2021 г.

