

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Занегина Сергея Юрьевича
«ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ В ВТСП ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИН», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Актуальность темы диссертация работы С. Ю. Занегина обусловлена необходимостью решения проблем, связанных с исследованием перспективных высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов для применения в конструкциях полностью сверхпроводящих электрических машин. Благодаря скачку в области производства ВТСП материалов с высокой токонесущей способностью их использование позволит существенно повысить удельные показатели и снизить потери как в обмотке возбуждения, так и в обмотке якоря. Это особенно важно для перспективных систем, таких как более электрический или полностью электрический самолет. Кроме того, подобные электрические машины с ВТСП обмотками, могут оказаться востребованными в различных отраслях народного хозяйства, например, в перспективных системах водородной и транспортной энергетики.

Во всем мире ведутся исследования, связанные с применением сверхпроводящих материалов в электрических машинах, в том числе работающих на переменном токе и в переменных магнитных полях. Одним из приоритетных направлений в этой сфере является определение потерь в сверхпроводниковых обмотках, так как недооценка их уровня может привести к перегреву обмоток, что в свою очередь приведет к переходу обмотки в нормальное состояние и, при отсутствии необходимой защиты, к неизбежной аварии.

Именно исходя из вышесказанного диссертационная работа С.Ю. Занегина посвящена исследованиям потерь в ВТСП обмотках электрических машин, которые позволят развить существующие подходы в

области разработки, создания и использования устройств на основе ВТСП материалов, обещая новые достижения в интерпретации полученных экспериментальных и теоретических материалов.

Структура работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 91 наименование. Объем диссертации составляет 134 страницы, в том числе 80 рисунков и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулирована цель и поставлены задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая ценность работы.

В первой главе на основе различных публикаций проведен обзор существующих проектов ВТСП машин с высокими удельными параметрами для систем электродвижения, применительно к авиации будущего (полностью электрические самолеты). Проведен анализ современных ВТСП проводников. Приведены аналитические модели для расчета и различных известных способов измерения потерь в сверхпроводниках.

Во второй главе представлена модернизированная двухмерная (2D) численная модель, для решения нестационарных уравнений электродинамики Максвелла методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса ANSYS.

В третьей главе представлено исследование потерь в модельных ВТСП обмотках.

В четвертой главе описана разработка и изготовление катушек для ВТСП двигателя.

В пятой главе приведены результаты испытаний ВТСП катушки в условиях, имитирующих работу в составе двигателя для подвижных объектов.

В шестой главе проведены исследования рейстрековых ВТСП катушек и обмотки электрической машины в присутствии внешнего постоянного и переменного магнитного поля.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе С.Ю. Занегина в науку. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов исследований

Достоверность полученных результатов диссертации обоснована корректностью принимаемых допущений и ограничений, применением современных методов исследования, основанных на методах конечных элементов. При решении задач диссертации использовались методы электродинамики, электромеханики и прикладной сверхпроводимости.

Расчетные данные согласуются, как с собственными экспериментальными данными, так и данными, известными из литературы.

Научная новизна.

1. Разработана 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 и неоднородности критической плотности тока по ширине ВТСП слоя ленты и магнитных свойств подложки.

2. Впервые разработано уникальное экспериментальное оборудование 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.

3. На основе экспериментальных исследований проведен анализ влияния условий работы ВТСП катушки (отдельная катушка, система катушек с общим магнитопроводом, присутствие внешнего постоянного и переменного магнитного поля) на величину потерь в катушке.

Практическая значимость работы.

1. Разработан численный метод расчета потерь на переменном токе в ВТСП лентах второго поколения, в стопках и обмотках электрических машин на их основе.
2. Установлено, что для получения наиболее точных результатов расчета потерь необходимо использование функции, описывающей как неравномерность критической плотности тока по ширине ленты, так и её зависимость от вектора магнитного поля. Даны рекомендации для определения коэффициентов этой функции.
3. Результаты проведенных экспериментальных исследований потерь в ВТСП катушках и ВТСП обмотках электрических машин при несинусоидальных токах в режимах, имитирующих работу двигателя с электронным преобразователем-инвертором, могут быть использованы для выработки требований к оптимальным условиям работы ВТСП обмоток электрических машин.

Значимость результатов диссертационного исследования для прикладной сверхпроводимости видится, прежде всего, в том, что продолжается процесс совершенствования методов численного моделирования и экспериментальных методик для исследования потерь в современных ВТСП лентах второго поколения, в стопках и обмотках электрических машин на их основе.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации не обсуждается каким образом определялась индуктивность катушек, состоящих из ВТСП ленты 2-го поколения.
2. Снижение критического тока в катушке на 20% связано только с предельным радиусом намотки ВТСП лент, то есть не учитывалось влияние поля соседних лент на критический ток катушки?
3. В диссертации не обсуждается, чем обусловлен выбор частот, на которых проводились исследования.
4. Выводы 2 и 4 фактически повторяют друг друга.

Также по тексту диссертации имеются редакционные замечания:

1. Почему номера страниц находятся вверху, а не внизу как это общепринято?
2. На странице 26 вместо технологии напыления сверхпроводящего покрытия указана технология напыления буферного покрытия, что является некорректным.
3. На странице 89 орфографическая ошибка в слове бесколлектор.

Заключение

Несмотря на указанные замечания, диссертация Занегина Сергея Юрьевича «Исследование потерь в ВТСП обмотках электрических машин» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную автором на высоком научном уровне. Решена научная задача, значимая для реализации проектов электрических машин с ВТСП обмотками, работающими на переменном токе, изложены новые научно обоснованные методики расчета потерь, подтвержденные экспериментальными исследованиями. Полученные в работе результаты являются актуальными, новыми, обоснованными и достоверными.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в редакции от 28.08.2017 г.) и соответствует паспорту специальности в области исследований по пункту 2 - «Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов». Автор диссертационной работы Занегин Сергей Юрьевич заслуживает присуждения научной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент

Кандидат физико-математических наук,

Старший научный сотрудник лаборатории 2.2

– сверхпроводниковых устройств

и преобразовательной техники

ФГБУН Объединенный институт

высоких температур РАН

Дегтяренко Павел Николаевич

«01» декабря 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный
институт высоких температур Российской академии наук

Адрес: **125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2**

Телефон: (495) 485-8345

E-mail: degtyarenkopn@gmail.com

Подпись Дегтяренко Павла Николаевича заверяю

Ученый секретарь ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.

Р.Х. Амиров