

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Занегина Сергея Юрьевича на тему «Исследование потерь в ВТСП обмотках электрических машин», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

### **1. Актуальность избранной темы**

В связи с развитием электродвижения возрастаёт необходимость создания более эффективных электромеханических преобразователей энергии. Одним из перспективных направлений в этой области является разработка и создание электрических машин (ЭМ) с высокотемпературными сверхпроводящими (ВТСП) обмотками. Повышение удельной мощности таких ЭМ является важной задачей для внедрения их в авиационной технике, а также наземном транспорте, однако для решения этой задачи необходимо правильно рассчитывать потери в ЭМ, что особенно важно для машин с ВТСП.

В связи с этим, диссертационное исследование, посвященное численному моделированию потерь в ВТСП обмотках ЭМ при их разработке, а также экспериментальному исследованию ВТСП обмоток, является актуальным.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Степень обоснованности положений и результатов диссертационной работы подтверждаются корректным использованием математического аппарата, и соответствием результатам, полученным путем аналитических расчетов, математических, физических и имитационно-компьютерных моделей. При решении задач диссертации использовались методы электродинамики, электромеханики и прикладной сверхпроводимости; численные методы решения уравнений в частных производных (метод конечных элементов). Расчетные данные согласуются, как с собственными экспериментальными данными, так и данными, известными из литературы.

### **3. Научная новизна результатов исследования**

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, 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.

#### **4. Практическая значимость полученных автором результатов**

Практическая значимость полученных автором результатов заключается в том, что:

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.

#### **5. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении автореферата диссертации**

В автореферате диссертации Занегина Сергея Юрьевича представлены все основные компоненты исследования, которые необходимы при формировании кандидатской диссертации, представлена хорошая апробация работы, как на международном уровне, так и всероссийском.

Автореферат выполнен на хорошем научном, методическом и техническом уровне, написан технически грамотно, изложение материала методически выдержано, логически последовательно.

Графический материал в автореферате хорошо дополняет текстовую часть и выполнен аккуратно, без ошибок и нарушений действующих стандартов.

Однако, следует указать на **недостатки по автореферату**:

- на странице 7 автореферата указано, что в результате обзора современных ВТСП проводников одной из поставленных задач является выработка конкретных рекомендаций по применению ВТСП обмоток второго поколения в ЭМ, однако, эти рекомендации в автореферате далее не приведены;

- на странице 14 автореферата упомянуто о разработке и изготовлении намоточного станка и технологии изготовления ВТСП катушек, однако, из автореферата не ясно какой вклад внесен автором при этом;

- актуальность работы обоснована, в том числе, перспективой использования ЭМ с ВТСП обмотками в «более электрических» или «полностью электрических самолётах». На страницах 10, 11, 13, 14 представлены результаты исследований при частоте тока 35, 50, 100 Гц, в то время как в бортовых системах электроснабжения (СЭС) воздушных судов частота тока составляет для СЭС

постоянной частоты - 400 Гц, для СЭС плавающей частоты – 360...800 Гц, в связи с чем целесообразно было бы определить величину потерь при указанных значениях частоты.

## 6. Заключение

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности проведенных автором исследований.

Судя по автореферату, диссертация Занегина Сергея Юрьевича является завершенной научно-квалификационной работой, которая по содержанию, объекту и направлению исследований соответствует научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Совокупность теоретических положений, разработанных в диссертации автором и подтвержденных результатами выполненных исследований, является решением актуальной научно-технической задачи, имеющей важное значение для разработки электрических машин с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях и отражены в 7 работах, в том числе 2 в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 цитируемых в базе Scopus, что соответствует п. 11-13 действующего Положения о присуждении ученых степеней.

Таким образом, диссертация удовлетворяет критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013г., которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Занегин Сергей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Заведующий кафедрой электротехники и электрических машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет»

кандидат технических наук, доцент

Кашин Яков Михайлович

6 января 2021 г.

350090, г. Краснодар, ул. Московская, 2  
Тел. раб. 8 (861) 233-73-43.  
jlms@mail.ru

Подпись Кашин Я.М.  
Начальник отдела  
кадров сотрудников

« 06 » 12 2021 г. — Е.И. Руссу