

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Екатерины Евгеньевны ТУЛИНОВОЙ на тему «Многополюсные синхронные электрические машины для летательных аппаратов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Устройства на основе материалов со свойством сверхпроводимости и, особенно, на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) обладают существенными преимуществами по сравнению с устройствами из традиционных материалов – низкими потерями, высокой токонесущей способностью, меньшими габаритными размерами, экологической безопасностью.

С ростом энергопотребления летательных аппаратов (ЛА) и в условиях необходимости сокращения потерь мощности весьма актуальным является внедрение новых материалов и энергоэффективных технологий при проектировании и производстве мощных электромеханических преобразователей энергии (ЭМП) (генераторов, двигателей, трансформаторов), в том числе с обмотками из ВТСП лент. Во всём мире ведутся работы, связанные с применением сверхпроводящих материалов в электрических машинах, используемых как на стационарных объектах, так и на подвижных автономных. Особенно это важно в рамках концепции более/полностью электрифицированного самолета (БЭС/ПЭС).

Существующие ЭМП мощностью порядка 1 МВА, как правило, содержат обмотки из медных или алюминиевых проводов. Представляется целесообразным использование в качестве обмоточного материала ВТСП ленты, что позволит исключить потери в обмотках возбуждения. То же самое относится и к обмоткам якоря. Несмотря на наличие потерь в переменных магнитных полях при переменном токе в ВТСП проводах, эксперименты

показали, что эти потери существенно ниже, чем в традиционных проводниках.

В этой связи разработка электрических машин с ВТСП обмотками является актуальной научной и инженерной задачей, направленной на создание электрооборудования не только для ЛА, но и для подвижных и стационарных объектов наземного и морского базирования. Это и определяет актуальность и практическую ценность представленной диссертационной работы.

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 59 наименований. Работа изложена на 117 страницах, включая 61 рисунок и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы и степень её раскрытия в литературе, сформулированы цели и задачи работы, показана её научная новизна и практическая ценность, представлены основные положения, выносимые на защиту и личный вклад автора.

В первой главе приведен обзор работ по теме диссертации. Проведен анализ перспектив создания ЭМП в рамках концепции БЭС/ПЭС. Рассмотрены рациональные схемы таких преобразователей. Проанализированы свойства современных ВТСП проводов и их влияние на характеристики преобразователей. Показано, что использование совместно с ВТСП проводниками высококоэрцитивных постоянных магнитов позволяет еще в большей степени повысить удельную мощность ЭМП. Затронут вопрос о способах криообеспечения ВТСП обмоток. Приведён анализ существующих конструктивных схем синхронных генераторов и предложены рекомендации для проектирования синхронных электрических машин с комбинированным возбуждением.

Во второй главе предложен метод расчета магнитных полей и основных характеристик ЭМП с возбуждением от постоянных магнитов. Проведен расчет магнитных полей в активной зоне ЭМП с постоянными магнитами с различным числом пар полюсов. Определены основные параметры и характеристики этих ЭМП.

В третьей главе поставлена задача расчета магнитных полей ЭМП с

композитным ротором из магнитомягких и ВТСП сегментов с целью повышения удельной мощности ЭМП. Представлена методика расчета в двухмерной постановке для машин с композитным ротором и ВТСП обмотками якоря. Определены основные параметры таких ЭМП. Для использования механических свойств ВТСП лент предложено выполнять обмотки якоря сосредоточенными в виде рейтрековых катушек. Показаны преимущества данной конструктивной схемы по сравнению с традиционными ЭМП.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментального исследования макета предложенного в диссертации ЭМП для БЭС/ПЭС. Приведено описание разработанного автором компьютеризованного испытательного стенда. Представлена конструкция макетного образца. Экспериментальные данные сопоставлены с расчетными. Отмечено хорошее согласование эксперимента и расчета, что говорит о высоком качестве предложенной методики.

В работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1) Разработана новая методика расчета многополюсных синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов, основанная на аналитическом расчете двухмерных распределений магнитных полей в активной зоне синхронной машины, учитывающая свойства ПМ и электрические параметры ЭМП;

2) Разработана новая методика электромагнитного расчета явнополюсных синхронных машин с ВТСП обмотками возбуждения и якоря, основанная на аналитическом расчете двухмерных распределений магнитных полей в активной зоне синхронной машины. Особенностью данной методики является возможность учесть геометрические размеры активной зоны, свойства используемых материалов, в том числе ферромагнитных и сверхпроводниковых. Полученные аналитические выражения позволяют получать соотношения размеров активной зоны ЭМП, которые позволяют обеспечить при заданных исходных данных максимальное значение удельной

или объемной мощности;

3) Проведена верификация теоретических расчетов на основе конечно-элементного моделирования и экспериментальных исследований макетного образца, подтвердившая правильность разработанных теоретических методик.

Практическая значимость полученных результатов:

1) Теоретическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработанная методика и подходы к проектированию дают возможность проводить глубокий анализ выходных параметров рассматриваемых электрических машин, в том числе, например, определить зависимость удельной и объемной мощности машины от параметров ПМ или критических ВТСП;

2) Разработанные методики позволяют определить основные параметры синхронных электрических машин на основе ПМ или ВТСП. Это дает возможность на этапе предварительного расчета и проектирования определить соотношения размеров активной зоны машины, при которых будет получена наибольшая удельная или объемная мощность. Таким образом, практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют перейти к проектированию и созданию новых электрических машин с улучшенными массогабаритными показателями для ПЭС/БЭС.

Достоверность полученных результатов подтверждается высокой степенью соответствия результатов расчетов экспериментальным данным.

В работе можно отметить несколько недостатков:

1) В главе 1 при обсуждении ПЭС АВФ-32НС во фразе «...работающих на запасенном на борту ПЭС водороде и кислороде, получаемом из окружающего воздуха» не уточнено происходит это на земле или в условиях полета;

2) В главе 4 в разделе «Жидкостное охлаждение ВТСП катушек» говорится только об использовании жидкого азота при температуре 77К. В то

же время, для повышения токонесущей способности ВТСП проводников предлагается снижать рабочую температуру до 20–40К без упоминания соответствующего теплоносителя;

3) В главе 4 фраза «Охлаждение за счет теплопроводности при использовании для ВТСП катушек сопряжено с большим количеством проблем. Оно представляет собой крайне медленный процесс на этапе захолаживания...» не может считаться достаточно точной. Скорость охлаждения в большой степени зависит от организации процесса теплопроводности, мощности системы охлаждения (криокулера) и теплоёмкости захолаживаемых элементов. Тем более, далее говорится «Если ВТСП обмотка имеет достаточно развитую поверхность, то она может быть охлаждена до рабочей температуры за считанные секунды».

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы, ее практической ценности и не влияют на обоснованность защищаемых положений. Диссертационная работа Е.Е. Тулиновой представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена автором на высоком научном уровне. Решена научная задача, значимая для реализации концепции более/полностью электрифицированного самолета, изложены новые научно обоснованные методики и технологические решения и разработки. Полученные автором результаты являются актуальными, новыми, обоснованными и достоверными. Работа соответствует паспорту специальности, а ее результаты апробированы достаточным количеством выступлений на конференциях и публикаций.

Структура и объем автореферата достаточны для понимания основных положений диссертации, вынесенных на защиту. Автореферат изложен чётким научным языком.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в редакции от 28.08.2017 г.), а ее автор Екатерина Евгеньевна Тулинова, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Заместитель генерального директора по научной работе АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
доктор технических наук, профессор



Владимир Яковлевич Геча
02.12.2019

Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна», 107078, РФ, г. Москва, Хоромный тупик, дом 4, строение 1
Телефон: (495) 365-26-69
e-mail: vniiem@vniiem.ru