

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

дата защиты 18.12.2014 протокол № 19

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.125.07 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКИЙ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ПО ДИССЕРТАЦИИ  
ИВАНОВА НИКОЛАЯ СЕРГЕЕВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Диссертация «Многополюсные синхронные электрические машины обращенной конструкции» в виде рукописи по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) на кафедре «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы».

Диссертация принята к защите «17» ноября 2014 г., протокол №10.

Соискатель Иванов Николай Сергеевич, гражданин Российской Федерации, младший научный сотрудник кафедры 310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ; в период подготовки диссертации работал младшим научным сотрудником на кафедре 310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ.

В 2011 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет).

Научный руководитель – доктор технических наук Ковалев Константин Львович, профессор кафедры 310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ.

**Официальные оппоненты:**

1. Геча Владимир Яковлевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, заместитель генерального директора по научной работе ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»;
2. Савенко Валерий Ананьевич, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, заместитель главного конструктора ОАО «Аэроэлектромаш»;

дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина» (ФГБОУ ВПО ИГЭУ), г. Иваново, дала положительное заключение (заключение составлено Казаковым Юрием Борисовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедры «Электромеханика» ФГБОУВПО «ИГЭУ» и утверждено проректором ФГБОУВПО «ИГЭУ» по научной работе Тютиковым В.В.).

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов:

**Отзыв** Гечи Владимира Яковлевича (официальный оппонент), доктора технических наук, заверен руководителем департамента управления персоналом и социального обеспечения Щедриной А.Г. ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ». Замечания:

– Аналитическая методика расчета распределения магнитных полей в активной зоне обращенной синхронной машины с возбуждением от ПМ рассматривает только радиально намагниченные ПМ. Однако, для практики большое значение также имеют случаи тангенциально намагниченных ПМ. В работе рассмотрение тангенциально намагниченных ПМ отсутствует.

– В качестве апробации результатов аналитических расчетов в работе приведены результаты численного моделирования. Однако, известно, что, несмотря на высокую точность современных программных продуктов, позволяющих проводить численное моделирование, результаты испытаний макетных образцов могут отличаться от результатов моделирования.

– В работе приведена численная методика расчета только для магнитоэлектрических машин, несмотря на то, что аналитический расчет машин с электромагнитным возбуждением в работе приведен.

– Не проведена оценка влияния сделанных при разработке аналитических методов расчета магнитных полей допущений на точность полученного результата.

**Отзыв** Савенко Валерия Ананьевича (официальный оппонент), кандидата технических наук. Замечания:

– Все аналитические модели построены без учета насыщения магнитной цепи машины.

– В работе не приведены тепловые расчеты машин обращенной конструкции, что особенно важно при применении сверхпроводниковых материалов в обмотках возбуждения ротора.

– В работе не представлено сравнение машин обращенной конструкции с электромагнитным возбуждением с машинами традиционной конструкции.

**Отзыв** ведущей организации ФГБОУВПО «ИГЭУ», утвержден проректором ФГБОУВПО «ИГЭУ» по научной работе Тютиковым В.В. Замечания:

– В работе указаны преимущества синхронных машин обращенной конструкции, но не сказано об их недостатках по сравнению с машинами традиционной конструкции.

– В главе 2 указано, что обращенная синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов может считаться неявнополюсной электрической машиной, что вызывает сомнения и требует дополнительного пояснения.

– В работе не приведен анализ величины потерь в стали для многополюсной машины.

– В работе нет данных о том, проводились ли экспериментальные исследования с использованием макетных образцов.

– В работе не указано, проводился ли механический расчет прочности ротора.

**Отзыв на автореферат** Чубраевой Л.И., член.-корр. РАН, директора Института инновационных технологий в электромеханике и энергетике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Замечания:

– во введение не указано, что машины обращенной конструкции рассматривались в качестве авиационных генераторов в 50-е и 60-е годы XX века.

– Из текста автореферата не ясно, каким образом удастся исключить щеточно-контактный узел на вращающемся якоре. В противном случае утверждение об отсутствии потерь в скользящем контакте звучит некорректно.

– Из текста автореферата не ясно, имеется ли экспериментальное подтверждение разработанных методик расчета синхронных машин обращенной конструкции.

**Отзыв на автореферат** Каляя В.А. кандидата технических наук, главного конструктора по направлению департамента систем электроснабжения ОАО «Авиационное оборудование». Замечания:

– Не даны сведения о влиянии на результаты расчета магнитного поля допущений, сделанных при постановке двумерных задач.

– Недостаточно рассмотрена проблема передачи механической мощности на внешний ротор электрической машины.

– Не уделено внимание механическому расчету внешнего ротора на прочность.

**Отзыв на автореферат** Флюра Р.И., доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой электромеханики ФГБОУВПО «УГАТУ». Замечания:

– не произведена оценка влияния числа пар полюсов на КПД исследуемых ЭМПЭ.

– Не приведены разъяснения по поводу точки экстремума, показанной на рисунке 3 автореферата.

– Увеличение кинетического момента машин с внешним ротором, которое указано в качестве преимуществ обращенных машин, требует обоснования.

– Не представлен сравнительный анализ механических характеристик исследуемых электрических машин и машин традиционного исполнения.

– На рисунке 2 автореферата представлена форма кривой радиальной составляющей магнитной индукции в воздушном зазоре, которая имеет трапецеидальную форму, при этом при определении ЭДС автор использует коэффициент формы поля характерный для синусоидального распределения магнитного поля в воздушном зазоре.

– В формулах и тексте автореферата имеется ряд опечаток.

**Отзыв на автореферат** Вержбицкого Л.Г., главного конструктора, директора отдела электрических машин и источников питания ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики» (ОАО «НИИЭМ»). Замечания:

– Из автореферата не видно, как рассчитать главные размеры рассматриваемых электрических машин при проектировании, аналитические методы расчетов не доведены до удобных в инженерной практике рекомендаций в виде графиков, номограмм, таблиц.

– Предложенные методики не подтверждены экспериментальной проверкой.

**Отзыв на автореферат** Трукунова А.Г., кандидата технических наук, ведущего технолога Технологического отдела по путевому хозяйству

Проектно-технологического-конструкторского бюро по пути и путевым машинам филиала ОАО «РЖД». Замечания:

– количество выводов отличается от количества положений, выносимых на защиту.

– В работе не учитывается зависимость критического тока сверхпроводниковых обмоток возбуждения от магнитного поля.

**Отзыв на автореферат** Высоцкого В.С., доктора технических наук, директора научного направления – заведующего отделением №4 ОАО «Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП»).

Замечания:

– В работе рассматривается только первая составляющая поля.

– В автореферате неверно указан номер рисунка на странице 10.

– В автореферате ничего не сказано о том, что сталь сердечников ненасыщенна, или сердечники выполнены из немагнитного материала.

**Отзыв на автореферат** Джафарова Э.А., кандидата технических наук, старшего научного сотрудника ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» (ОАО «ЭНИИ»). Замечания:

– На рисунках 3,4, 6 и 7 автореферата приведены результаты количественных расчетов, но не указано, при каких значениях конструктивных параметров эти расчеты выполнялись.

– Утверждение о том, что ток 100 А достижим только при использовании ВТСП обмоток возбуждения требует более детального обоснования.

– В списке публикаций указан журнал «Труды МАИ». Однако в перечне ВАК журнал имеет название «Электронный журнал «Труды МАИ».

**Отзыв на автореферат** Сокура П.В., кандидата технических наук, начальника центра электрических машин ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы» (ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»). Замечания:

– В автореферате не приводится объяснение зависимости выходной мощности от числа пар полюсов, которая приведена в главе 2.

– Обмоточный коэффициент обозначен как  $K_a$ , что вносит путаницу, т.к. традиционно  $K_a$  обозначает коэффициент амплитуды.

**Отзыв на автореферат Фридмана Б.Э.,** доктора технических наук, начальника лаборатории БЛ-7 ОАО «НИИЭФА». Замечания:

– Более правильным было бы сравнивать результаты аналитических расчетов с результатами измерения на макетах или натуральных образцах электрических машин.

– Проблема криостатирования обращенного ротора синхронной машины вряд ли может быть разрешена в настоящее время.

**В дискуссии приняли участие:**

Беспалов Виктор Яковлевич, Копылов Сергей Игоревич, Вильданов Камиль Якубович, Савенко Валерий Ананьевич, Кириллов Владимир Юрьевич, Лалабеков Валентин Иванович, Кривилев Александр Владимирович

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 5 научных работ общим объёмом 4,7 печатных листов, в том числе 3 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также 1 работу в зарубежных научных изданиях.

Соискателем опубликовано 3 работы в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов; имеется 1 публикация в электронных научных изданиях.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Иванов Н.С. «Многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами для ветроэнергетических установок»/ Ковалев Л.К., Ковалев К.Л., Тулинова Е.Е., Иванов Н.С. // Известия РАН. Энергетика. – 2012 г.– №6.

2. N. S. Ivanov. Multipolar permanent-magnet synchronous generators intended for wind power plants./ L. K. Kovalev, K. L. Kovalev, Ye. Ye. Tulinova, N. S. Ivanov // Thermal Engineering – December 2012. – Volume 59 – Issue 14 – pp 1035-1043.
3. Иванов Н.С. Синхронные генераторы обращенной конструкции с постоянными магнитами для ветроэнергетических установок и малой энергетики./ Иванов Н.С., Тулинова Е.Е.// Электронный журнал «Труды МАИ». Раздел: Электротехника. Электромеханика. – 2013г. – выпуск 68.
4. Иванов Н.С. «Многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами для ветроэнергетических установок». / Иванов Н.С. Ковалев Л.К., Ковалев К.Л., Тулинова Е.Е. // Электричество – 2013г. – №8 – с.2-8.
5. Иванов Н.С. Методика расчета распределения магнитного поля в активной зоне синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением в автономных электроэнергетических установках.// Ковалев Л.К., Ковалев К.Л., Тулинова Е.Е., Иванов Н.С. – Электричество – 2014г. – №5 – с. 12-17.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются компетентными учёными в области электромеханических и электроэнергетических систем, что подтверждается их научными публикациями. Выбор ведущей организации обуславливается широкой известностью её достижений в области научных исследований, изложенных в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**Разработана** аналитическая методика расчета синхронных электрических машин обращенной конструкции с возбуждением от постоянных магнитов и с электромагнитным возбуждением, в том числе на основе сверхпроводников.



**Предложен** критерий сравнения машин с электромагнитным возбуждением и машин с постоянными магнитами.

**Проведен** сопоставительный анализ машин обращенной конструкции с возбуждением от постоянных магнитов и обмоток возбуждения

**Сформулирован** параметр, по которому можно проводить оценку целесообразности применения ВТСП проводов при проектировании ЭМП обращенной конструкции.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– на основе уравнений Максвелла получены новые аналитические решения о распределении двумерных магнитных полей в активной зоне синхронных электрических машин обращенной конструкции, учитывающие число пар полюсов и магнитные свойства материалов;

– доказана эффективность применения разработанной аналитической методики расчета основных параметров синхронных машин обращенной конструкции.

– применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован численный эксперимент, подтвердивший основные положения, реализованный с использованием программных комплексов Elcut Professional 5.4.

– показана перспективность применения синхронных электрических машин обращенной конструкции в ветро-, гидроэнергетик и авиационной технике;

– изучена зависимость основных параметров обращенных синхронных машин от числа пар полюсов, параметров индуктора, металлоемкости.

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

– разработаны и внедрены в учебный процесс и в научно-исследовательские работы ФГБОУ ВПО МАИ методики аналитического расчета распределения магнитных полей в активной зоне синхронных

электрических машин обращенной конструкции с возбуждением от постоянных магнитов и с электромагнитным возбуждением.

– определены перспективы использования разработанной методики при проектировании электромеханических преобразователей для летательных аппаратов нового поколения.

– представлены рекомендации по определению значения магнитодвижущей силы обмотки возбуждения, эквивалентного значению магнитодвижущей силы постоянных магнитов, которое может быть использовано при оценке целесообразности применения обмоток возбуждения или постоянных магнитов в индукторе машины.

#### **Оценка достоверности результатов выявила:**

– результаты теоретических исследований подтверждаются адекватностью использованных математических методов и результатами компьютерного моделирования.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке методик аналитического расчета обращенных синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов и обмоток возбуждения; в определении непосредственной связи магнитодвижущей силы постоянных магнитов и обмоток возбуждения; в проведении численных экспериментов и обработке их результатов; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Иванова Н.С. является законченной и обоснованной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения в области синхронных электрических машин обращенной конструкции, которые имеют существенное значение для электроэнергетики Российской Федерации.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Иванову Николаю Сергеевичу учёную степень кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов технических наук по специальности 05.09.01, 6 докторов технических наук по специальности 05.02.02, 1 кандидат технических наук по специальности 05.02.02, 7 докторов технических наук по специальности 05.09.03, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 20, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Пенкин В.Т.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Степанов В.С.

18 декабря 2014 г.