

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.07

Соискатель: Калий Валерий Алексеевич

Тема диссертации: Система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением.

Специальность: 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»

Решение диссертационного совета по результатам публичной защиты диссертации:

На заседании 29 октября 2019 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует паспорту специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты» и удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (редакция от 01.10.2018), и принял решение присудить Калию Валерию Алексеевичу учёную степень доктора технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Пенкин В.Т., *учёный секретарь диссертационного совета* Дежин Д.С., члены диссертационного совета: Ковалев К.Л., Беспалов В.Я., Бусурин В.И., Вольский С.И., Вышков Ю.Д., Зечихин Б.С., Кириллов В.Ю., Киселёв М.А., Кривилев А.В., Лалабеков В.И., Машуков Е.В., Мельников В.Е., Оболенский Ю.Г., Парафесь С.Г., Шевцов Д.А.

Учёный секретарь диссертационного
совета Д 212.125.07

Дежин Д.С.

И.о. ученого секретаря отдела УДС МАИ
Т.А. Анисина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 29 октября 2019 г. № 7

О присуждении **Калию Валерию Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением» **по специальности** 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» **принята к защите** 16.05.2019 г. (протокол № 4) диссертационным советом Д 212.125.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Калий Валерий Алексеевич 1972 года рождения.

В 1994 г. Калий В.А. окончил с отличием Киевский институт военно-воздушных сил по специальности «Авиационное оборудование». В период до 1997 г. проходил службу в Вооруженных силах России.

С 1997 г. по 2000 г. проходил обучение в очной адъюнктуре Военно-воздушной инженерной академии им. проф. Н.Е. Жуковского г. Москва.

В 2000 г. решением диссертационного совета Военно-воздушной инженерной академии им. проф. Н.Е. Жуковского г. Москва по итогам защиты диссертационной работы ему присуждена ученая степень кандидата технических наук. В период до 2003 г. проходил службу в Вооруженных силах Российской Федерации.

В период с 2003 г. по 2014 г. работал в качестве заместителя начальника отдела электрических машин открытого акционерного общества «Аэроэлектромаш», начальником отдела в открытом акционерном обществе «Научно-технический центр «Алнас», начальником отдела в обществе с ограниченной ответственностью «Рустмаш», начальником конструкторского бюро в обществе с ограниченной ответственностью «Триол-Нефть», главным конструктором в открытом акционерном обществе «Инженерный центр «Совтехэнерго».

С 2014 г. по 10.02.2017 работал главным конструктором департамента систем электроснабжения центра проектирования акционерного общества «Технодинамика», г. Москва. В настоящее время – директор-главный конструктор обособленного конструкторского бюро систем электроснабжения акционерного общества «Уфимское агрегатное производственное объединение».

Диссертация выполнена на кафедре №310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва. В период подготовки диссертации Калий В.А. являлся докторантом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по

кафедре №310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы».

Научный консультант – доктор технических наук, профессор **Мусин Сергей Миргасович**, заместитель главного конструктора обособленного конструкторского бюро систем электроснабжения акционерного общества «Уфимское агрегатное производственное объединение».

Официальные оппоненты:

Костиков Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии электротехнических наук РФ, начальник отдела публичного акционерного общества «Научно-производственное объединение «АЛМАЗ», г. Москва;

Захаренко Андрей Борисович, доктор технических наук, доцент, начальник отдела общих научно-технических разработок акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»), г. Москва;

Шевлюгин Максим Валерьевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика транспорта» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)», г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва, в своем положительном заключении, рассмотренном, обсужденным и одобренным на заседании кафедры «Электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта», протокол № 13/10 от 25 сентября 2019 года, подписанном заведующим кафедрой, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Румянцевым М.Ю.,

кандидатом технических наук, доцентом Сугробовым А.М., и утвержденным проректором по научной работе доктором технических наук, профессором Драгуновым В.К., указала, что диссертация Калия В.А. представляет законченную научно-квалификационную работу, результаты которой содержат решение научной проблемы по разработке и созданию системы проектирования авиационных систем электроснабжения летательных аппаратов в сфере решения государственной задачи создания высокоэффективных источников для систем электроснабжения перспективных воздушных судов, и представлены научно обоснованные технические решения высокооборотных авиационных синхронных генераторов и стартер-генераторов с электромагнитным возбуждением для современных воздушных судов типа МС-21, SSJ-95В, Ил-112В. Содержание диссертационной работы свидетельствует о личном вкладе Калия В.А. в научное обеспечение процесса разработки авиационных систем электроснабжения летательных аппаратов. По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению диссертационная работа Калия В.А. на тему «Система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением систем электроснабжения летательных аппаратов», соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, согласно пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (редакция от 01.10.2018), а ее автор, Калий Валерий Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» в диссертационном совете Д 212.125.07 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Соискатель имеет 30 (тридцать) научных публикаций по теме диссертации, в том числе 1 (одну) публикацию в издании, входящем в международную систему цитирования «Scopus», 1 (одну) рецензированную

монографию, 11 (одиннадцать) работ, опубликованных в изданиях из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», 6 (шесть) патентов на изобретения.

Наиболее значимые работы по теме диссертации

Рецензированная монография:

1. **Калий, В.А.** Биротативный генератор для противообледенительной системы винтовентилятора: монография [Текст]/ В.А. Калий, А.В. Резниченко, М.С. Савченко, С.М. Мусин; под ред. Мусина С.М. – Уфа: УГАТУ, 2015. – 100 с.

Научные труды, опубликованные в изданиях и журналах, входящих в международную систему цитирования «Scopus»:

2. Kaliy, V., Musin, S., Shapkin, V., Kuklev, E., Nikonov, V., Kamzolov, S., Konyaev, E. Heat exchange models in aviation starter-generator with combined excitation (2018) International Journal of Civil Engineering and Technology, 9 (7), статья №IJCIET_09_07_176, pp. 1641-1651.

Научные труды, опубликованные в рекомендованных ВАК научных изданиях и журналах:

3. **Калий, В.А.** Совмещенная численная модель основного генератора и возбудителя авиационного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением [Текст] /В.А. Калий, А.С. Щупаков /Научный журнал Вестник УГАТУ, 2016, № 4(74). – Уфа. 2016. - с. 80-83.

4. **Калий, В.А.** Имитационное моделирование преобразователей электроэнергии для определения их параметров на этапе поверочного расчета [Текст] / В.А. Калий /Научно-технический журнал «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ», Т. 151, № 2. – М.: АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2016 г. - с 3-7.

5. **Калий, В.А.** Электромагнитный расчет магнитоэлектрического двигателя с удельной мощностью не менее 5 кВт/кг [Текст] / В.А. Калий/

Электротехнические и информационные комплексы и системы, № 2, т. 12, 2017.
- Уфа: УГНТУ, 2017. - с.16-20.

6. **Калий**, В.А. Моделирование процессов теплообмена в авиационном стартер-генераторе с комбинированным возбуждением [Текст]/ В.А. Калий, С.М. Мусин, Д.А. Ситин, А.С. Семенов / Авиационная промышленность №1/2018. – М.: НИАТ, 2018. – с.4-7.

7. **Калий**, В.А. Модели процессов теплообмена в авиационном стартер-генераторе с комбинированным возбуждением [Текст]/ В.А. Калий, С.М. Мусин, Д.А. Ситин, А.С. Семенов / Авиационная промышленность №2/2018. – М.: НИАТ, 2018. – с.7-15.

8. **Калий**, В.А. Электромагнитная совместимость системы электроснабжения самолета Ил-114-300 [Текст] / В.А. Калий, С.М. Мусин / Научный Вестник ГосНИИ ГА, №24(335)/2018. – М.: ГосНИИ ГА, 2018.

9. **Калий**, В.А. Авиационный стартер-генератор ближне-средне-магистрального самолета [Текст] / В.А. Калий, С.М. Мусин, А.В. Резниченко / Авиационная промышленность №1/2019. – М.: НИАТ, 2019. – с. 7-9.

Патенты:

10. **Пат. № 2522750 Российская Федерация, МПК В63Н23/24.** Тихоходный гребной электродвигатель с возбуждением от высококоэрцитивных магнитов непосредственного жидкостного охлаждения с электроснабжением и управление от частотного преобразователя [Текст] / Белов С.А., Калий В.А., Попелнуха Г.В., Савченко М.С. - № 2017615616; заявл. 26.12.12; опубл. 20.07.14.

11. **Пат. 2017616334 Российская Федерация, программа для ЭВМ.** Программа СРКГ [Текст] / Калий В.А., Щупаков А.С.; заявитель и патентообладатель АО «Технодинамика». - № 2017615616; заявл. 17.04.17; опубл. 06.06.17.

12. **Пат. 2562906 Российская Федерация, МПК Н02К 5/12.** Компенсатор погружного линейного электродвигателя [Текст] / Калий В.А., Савченко М.С., Резниченко А.В., Скварский П.А. - 2014121828; заявл. 29.05.14; опубл. 17.08.15.

13. Пат. **150254 Российская Федерация, МПК H02P 9/04 B60L 11/08 B63H 21/00 B63H 21/14, B63H 21/06.** Устройство электропитания постоянным током автономного транспортного судна [Текст] / Калий В.А., Савченко М.С., Резниченко А.В., Скварский П.А. - 2014121830; заявл. 29.05.14; опубл. 29.12.14.

14. Пат. **145258 Российская Федерация, МПК H02K 5/12.** Погружной линейный электродвигатель [Текст] / Калий В.А., Савченко М.С., Резниченко А.В., Скварский П.А. - 2014121824; заявл. 29.05.14; опубл. 21.12.14.

15. Пат. **RU 165187 U1 Российская Федерация МПК H02K 3/52 H02K 3/04 H02K 1/24.** Индукторный генератор с комбинированным возбуждением [Текст] / Калий В.А., Ситин Д.А., Мисютин Р.Ю., Панихин М.В., Вирясов С.С., Черкасов К.А.; заявитель и патентообладатель АО «Технодинамика». - 2015156675; заявл. 29.12.15; опубл. 22.03.17.

Научные публикации соискателя посвящены:

– обобщению, анализу, методологиям проектирования авиационных электромеханических и электронных преобразователей энергии в проблеме создания энергоэффективных авиационных источников электроэнергии и систем электроснабжения;

– описанию процедур системы разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением систем электроснабжения летательных аппаратов относительно ее содержания;

– описанию и опытному подтверждению технических решений по энергоэффективности конструкций авиационных синхронных генераторов относительно их средней и большой мощности;

– описанию методов проектирования авиационных синхронных генераторов относительно этапов создания технического решения: эскизного проекта, технического проекта, рабочего проекта.

- теоретическому и экспериментальному исследованию способов охлаждения авиационных электрических машин, генераторов и стартер-генераторов, систем электроснабжения нового поколения;

- разработке и обоснованию критериев оптимизации конструкции синхронных генераторов, являющихся составной частью базы знаний системы разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов, сопоставлению технических решений полученных при параметрической оптимизации относительно примененного критерия;

- описанию и примерам применения системы разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов в рабочих проектах систем электроснабжения самолетов Ил-112В, Ил-114-100, МС-21;

- результатам исследования характеристик опытных и экспериментальных образцов синхронных генераторов, стартер-генераторов, стартеров.

Авторский вклад заключается в анализе и обобщении методов и методик проектирования синхронных генераторов авиационных систем электроснабжения, развитие практических аспектов применения теории оптимизации при проведении расчетов электрических авиационных машин, разработке методов решения задач поверочных расчетов, в разработке форматов 3D-моделей авиационных электрических машин, моделей электромагнитных процессов, протекающих в авиационных электрических машинах и системе электроснабжения в целом, в оперативном руководстве данными исследованиями, в анализе результатов теоретических и экспериментальных исследованиях образцов авиационных синхронных генераторов воздушных судов различного класса, в формулировании общих выводов на основании накопленного опыта.

В диссертации Каля В.А. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступило 14 отзывов. Все отзывы положительные.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, указаны степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность, новизна и значимость, представлены заключения о соответствии диссертации критериям Высшей аттестационной комиссии (ВАК), предъявляемым к докторским диссертациям.

1) **Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» - отзыв положительный.

Замечания:

1. Созданная база знаний в виде многокритериальных функционалов не оценена с позиций верификации и валидации программного обеспечения;

2. База знаний не имеет возможности проводить оценку рекуперированной электрической энергии, которая является источником ухудшения качества электроэнергии централизованных и специальных систем электроснабжения и обязательно присутствует при управлении методом векторной широтно-импульсной модуляцией.

3. В работе не приведено достаточного объема информации, подтверждающей вывод автора о бесперспективности применения в авиационных системах электроснабжения индукторных генераторов.

2) **Официальный оппонент** – **Костиков Владимир Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии электротехнических наук РФ, начальник отдела Публичного акционерного общества «Научно-производственное объединение «Алмаз» (ПАО НПО «Алмаз»), г. Москва – положительный отзыв на диссертацию, подпись заверена ведущим специалистом по кадрам ПАО НПО «Алмаз» Сокольской М.В.

Замечания:

1. Система не содержит методов и сопутствующей базы знаний по оценке, расчету и обеспечению электромагнитной совместимости по качеству и возмущениям электропитания.

2. Расчет регулятора напряжения не конкретизирован относительно метода регулирования - аналоговое, цифро-аналоговое, цифровое, цифровое с применением программного обеспечения и т.д., что в дальнейшем требует проведения дополнительных испытаний по выбору рабочей области и ограничений по управлению и защите генератора. В работе рассмотрена необходимость такой информации, но не рассмотрена и не исследована её достаточность.

3. Метод верификации программного обеспечения в диссертации основан на применении теории математической статистики. Автор не обосновывает и не приводит исходные предпосылки для применения вычислительных процедур, гипотез, критериев адекватности теории математической статистики для верификации программного обеспечения.

4. Система содержит процедуры поверочных расчетов, но в диссертации не представлены алгоритмы метрологической поверки методологии проектирования синхронного генератора по этапам его создания.

5. Система содержит процедуры теплового расчета при применении нагнетательного жидкостного охлаждения. Аспекты комбинированной воздушно-испарительной системы охлаждения не рассмотрены.

3) Официальный оппонент – Захаренко Андрей Борисович, доктор технических наук, доцент, начальник отдела общих научно-технических разработок акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»), г. Москва - положительный отзыв на диссертацию.

Замечания:

1. На стр. 107 диссертации говорится, что введение элементов конструкции (обмоток, держателей обмоток, блока диодов и т.д.) в расчетную модель в явном виде приведет к *неоправданному увеличению расчетной жесткости конструкции*. Автор рекомендует учитывать только их инерционный вклад. Выделенное курсивом утверждение представляется сомнительным и может свидетельствовать о неполной адекватности модели. Возможно, автор имел в виду, что приближенный учет конструкции обмоток, держателей обмоток, блока диодов и т.д. в виде их масс и моментов инерции приведет к упрощению расчетной модели и более быстрому получению адекватных результатов.

2. На стр. 25 диссертации сказано, что тепловой поток в статоре и роторе может быть рассчитан отдельно, т.к. *воздушный зазор является практически идеальным изолятором в тепловом отношении*. Такое допущение представляется не совсем обоснованным, т.к. не указана величина воздушного зазора.

3. В таблице 3.10 «Этапы разработки электрической машины» в разделе «Изготовление, испытание» сразу после исследовательских испытаний идут предварительные испытания (стр. 193 диссертации). Согласно действующему регламенту, изделие, предъявляемое на предварительные испытания, должно быть принято ОТК и ВП МО РФ, заполнен его паспорт или формуляр. Поэтому предварительным испытаниям всегда предшествуют приемо-сдаточные. Этот вид испытаний в таблице пропущен.

4) **Официальный оппонент – Шевлюгин Максим Валерьевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика транспорта» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский университет транспорта (МИИТ)", г. Москва - положительный отзыв на диссертацию, подпись заверена начальником отраслевого центра полготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации Коржином С.Н.

Замечания:

1. В главе 2 не представлены методические рекомендации, расчетные и экспериментальные данные по результатам гидравлических тепловых исследований генераторов с жидкостным струйным масляным охлаждением, которые имеют специфические особенности в сравнении с расчетами воздушных систем охлаждения.

2. В главе 3 недостаточно подробно раскрыта особенность алгоритмизации многоэтапного оптимального проектирования генераторов с учетом основных связей: электромагнитных процессов, прочности при высоких оборотах, оценки качества электроэнергии и его влияния на геометрию трехкаскадного генератора, а также термодинамических процессов, в свою очередь влияющих на изменение геометрии и т.д.

3. Недостаточно четко показаны результаты сравнительной оценки характеристик генераторов, полученных при комплексной оптимизации и при классическом проектировании, хотя справедливости ради следует заметить, что исследуемые в работе объекты существенно отличаются от традиционных.

4. Подраздел 2.5 проиллюстрирован рисунком 2.21 с наложением на конструкцию генератора эпюрой неизвестной физической величины, изменяющейся в неуказанных пределах.

5. В подразделе 2.2 приведено описание совмещенной модели генератора и возбудителя синхронного генератора, проиллюстрированное рисунком 2.7, на котором фазное напряжение испытывает провал в момент, непосредственно следующий за набросом нагрузки, а затем восстановление. При этом из описания и иллюстрации трудно оценить, происходит ли полное восстановление напряжения и имеется ли в данной модели регулятор напряжения.

6. Имеются незначительные замечания по оформлению – редкие опечатки, тяжело читаемые рисунки, например, рис. 15 автореферата.

5) **Войсковая часть 45095** – положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан ВрИО заместителем командира войсковой части 45095 по

научно-исследовательской работе Бакиным С.Е., начальником исследовательского отдела Парфеновым С.А., начальником цикла Поляковым Э.В.

Замечания:

1. Решение оптимизационной задачи при проектировании синхронной машины осуществляется на основе итерационных связей. Из автореферата не ясно как выбирается величина итерационного шага (правила, область ограничений и т.д.), чтобы итерационный процесс был сходящимся.

2. В автореферате не нашли отражения аспекты технологического проектирования, присутствующие в алгоритме 3D моделирования электрической машины.

3. Из автореферата не ясно, какие использовались критерии при оптимизационных расчетах методом безусловной оптимизации.

б) Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики» – положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан директором-главным конструктором отдела электромеханических источников и преобразователей АО «НИИЭМ» Зубовым А.В., ведущим научным сотрудником, кандидатом технических наук Кругловой М.Л.

Замечания:

1. Недостаточно уделено внимания применению в качестве основного канала генерирования первичной системы электроснабжения генератору с магнитоэлектрическим возбуждением с применением высококоэрцитивных постоянных магнитов и электронной системы управления.

2. В диссертации представлена сложная программа оптимизации с использованием параметрических методов упорядоченного перебора, направленного поиска и случайного поиска конструкции генератора с электромагнитным возбуждением, осуществляемая с целью получения ее минимальной массы. Однако, в классическом машиностроении, основанном на опыте данных, на основе рационально спроектированных машин, изготовленных и подтвердивших высокие качества при эксплуатации показано,

что область оптимума по минимальной удельной массе достаточно плоский. Это позволяет произвести предварительный выбор главных размеров на основании предыдущего опыта и знаний с последующим их уточнением на одном-двух шагах итераций, без многочисленного перебора многих параметров, тем более с дроблением их значений, что не всегда допустимо. Таким образом, время поиска будет существенно сокращено, а математическая модель существенно упрощена.

3. Упрощение математической модели для оценки тепловых и гидравлических процессов может быть за счет унификации процессов расчетов по универсальным схемам замещения, аналогичным электрическим. В такой модели зависимость падения давления от расхода хладагента может быть нелинейной. С помощью такой программы можно также производить электромагнитные расчеты с нелинейной зависимостью падения намагничивающей силы от магнитного потока или тепловые с нелинейными параметрами. Результаты получаются при нескольких шагах итерации.

4. Спорным является вопрос о повышении точности расчетов с увеличением числа источников потерь и теплопроводящих элементов в объеме машины при разбиении на более мелкие фрагменты. В конечном счете, речь идет о схеме замещения с громадным количеством узлов и эквивалентных параметров. Точность результатов в тепловых и гидравлических расчетах определяется не степенью деления объема машины на макроэлементы, а от точности задания коэффициентов теплоотдачи, от теплофизических параметров охлаждающих струй. А их точность задания составляет в лучшем случае 15%, поскольку определение носит эмпирический характер.

5. Хотелось бы заметить, что при столь серьезной математике и огромном количестве вычислений автору не удалось вывести обобщающих закономерностей и рекомендаций по выбору главных размеров электромагнитного генератора в виде номограмм, графиков, облегчающих

вычислительный процесс инженеры, не имеющие столь большого опыта и мощной вычислительной техники.

7) **Федеральное государственное бюджетное учреждение «46 Центральный научно-исследовательский институт»** - положительный отзыв на автореферат. Отзыв утвержден Заместителем начальника института по научной работе кандидатом технических наук, доцентом Гладышевским В. и подписан ведущим научным сотрудником д.т.н., старшим научным сотрудником Брайткрайц С.Г., старшим научным сотрудником кандидатом технических наук. Ковалевым С.Н.

Замечания:

1. Из содержания автореферата не ясно, каким образом обеспечивается взаимосвязь этапов расчетного проектирования с выбором оптимального варианта синхронного генератора и этапа разработки конструкции на основе 3-D моделирования, поскольку оба этапа предполагают последовательную итерационную реализацию.

2. В основных уравнениях, раскрывающих методологию проектирования и определения оптимальных параметров синхронного генератора (уравнения (1), (2), (10) и (11)) не раскрыто содержание переменных.

3. При поиске оптимального решения соискатель использует только методы перебора, либо локального поиска. В обоих случаях возможно получение решения, не обеспечивающего определение глобального экстремума в пространстве параметров проектируемого генератора.

8) **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»** – положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан доктором технических наук, профессором Хайруллиным И.Х., заверен начальником документационного обеспечения и архива Гильвановой А.М.

Замечания:

1. Не раскрыты подписи к рисунку 2, что возможно вызвано ограниченностью объема автореферата.

2. Автор выполняет тепловые расчеты двумя методами: методом эквивалентных схем и с помощью методов конечных элементов. Представлялось бы целесообразным произвести анализ расхождения данных методов. Возможно, отсутствие данного сравнения обусловлено ограниченностью объема автореферата.

3. В выражении (4) и на стр. 15 переменной H обозначаются различные физические величины. В одном случае это вектор напряженности магнитного поля, в другом высота оси электрической машины.

4. Рисунки 2 и 7 одинаковые, возможно на 23 стр. было нужно сослаться на рисунок 2.

5. В выражениях (1) и (3) не все переменные расшифрованы, что затрудняет анализ данных выражений.

9) **Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» филиал г. Сызрань** - положительный отзыв на автореферат. Отзыв утвержден Начальником филиала военного учебно-научного центра военно-воздушных сил Асановым А., подписан заместителем начальника 5 кафедры АЭРО кандидатом технических наук Алексеевым Э. и заместителем начальника филиала кандидатом технических наук, доцентом Моисеевым А.

Замечания:

1. В автореферате не представлены верификационные оценки моделей высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, которые легли в основу базы знаний системы.

2. Метод Гладкова Д.И. применяется для стохастических систем. Из содержания автореферата не ясно, какие применены ограничения в алгоритме для оптимизации параметров и решений.

3. В автореферате не представлены оценки параметров качества электроэнергии в точке регулирования напряжения высокооборотного авиационного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением на борту воздушного судна, что не позволяет оценить эффективность конструкции.

10) **Открытое акционерное общество «Опытно-конструкторское бюро имени А.С. Яковлева»** – положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан заместителем генерального директора – техническим директором – директором КБ – главным конструктором Поповичем К.Ф., подпись заверена начальником бюро Денисовой Ю.С.

Замечания:

1. В автореферате не представлены оценки характеристик серийных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, которые применяются в системах генерирования отечественных летательных аппаратов.

2. В работе не рассмотрена методика проектирования системы электроснабжения в целом, с учетом устройств коммутации потребителей.

11) **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»** - положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан заведующим кафедрой электрических машин и аппаратов им. А.С. Большева кандидатом технических наук Фоминых А.А., доцентом кафедры электрических машин и аппаратов кандидатом технических наук, доцентом Шестаковым А.В., подписи заверены ведущим специалистом по кадрам Паксиной О.Н.

Замечания:

1. Какие показатели надежности разрабатываемого СГ рассчитываются на этапе технического проектирования после верификации 3D модели? Какие модели надежности его элементов при этом используются?

2. Входят ли в предложенную систему проектирования трехкаскадного СГ оптимизационный расчет подвозбудителя?

3. Какова трудоемкость проектирования синхронного СГ с помощью предлагаемой системы по сравнению с трудоемкостью при традиционных подходах?

12) **Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» филиал г. Челябинск** - положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан Заместителем начальника 13 кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов филиала ВУНЦ ВВС «ВВА» г. Челябинск кандидатом технических наук Хаютиным А.М., профессором 13 кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов филиала ВУНЦ ВВС «ВВА» г. Челябинск доктором технических наук, профессором Панферовым В.И., подписи заверены помощником начальника филиала по службе войск и безопасности военной службы – начальником строевого отдела Филоненко А.В.

Замечания:

1. Эффективность использования случайного поиска необходимо подтверждать более весомыми аргументами, чем это указано в автореферате (стр. 21), кроме того, не понятно, как при этом гарантируется отыскание глобального экстремума.

2. В автореферате не следует приводить всем известные «школьные» формулы (см. формулы (4), (5), (6) и др.), а также и способ формирования штрафной функции (стр. 20 автореферата).

3. В формуле (5) k_{II} - это коэффициент передачи, а не перерегулирования, а k_{II} — коэффициент интегрирования, он обратен постоянной времени интегрирования регулятора.

4. В автореферате имеются затруднительные для восприятия рисунки (см., например, рис. 17, рис.18).

5. Не понятно, зачем процессы охлаждения моделируются сначала с помощью электрических схем замещения, (это весьма приближенная аналоговая модель нелинейного объекта), а затем полученные результаты уточняются методом конечных элементов (стр.17 автореферата), почему бы не использовать только конечно-элементную модель.

6. В автореферате не указано, как осуществляется параметрическая настройка моделей - от этого зависит достоверность полученных результатов.

7. На наш взгляд, по данным таблицы 3 существенных преимуществ у экспериментальных образцов нет.

13) **Акционерное общество «Электропривод»** - положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан Заместителем генерального директора-техническим директором кандидатом технических наук Власовым А.И., ведущим конструктором – руководителем проекта кандидатом технических наук Опалевым Ю.Г., инженером-конструктором 1 категории кандидатом технических наук Панихиным М.В., подписи заверены начальником отдела ДООУ-референтом Гордиенко Н.Г.

Замечания:

1. Не представлены теоретические и практические выводы возможности применения разработанной концептуальной основы системного комплексного решения проблемы создания электромеханических преобразователей энергии летательных аппаратов нового поколения, в том числе ПЭС, при процессе проектирования стартерного режима работы генераторов. Реализация стартерного и генераторного режима работы в высокоскоростном синхронном генераторе большой мощности является достаточно актуальной задачей, так как многочисленные исследования, как в России, так и за рубежом показали, что на ПЭС целесообразно использовать бесконтактные стартер-генераторы, обеспечивающие как запуск авиадвигателя, так и генерацию электрической энергии.

2. Система проектирования синхронного генератора, показанная на рисунке 2, не содержит этапа оценки надежности генератора. Опыт

проектирования электромеханических преобразователей энергии показывает, что по результатам оценки надежности может потребоваться конструктивное изменение изделия, соответственно данный этап обязателен в процессе проектирования.

3. Не упоминается о результатах тепловых экспериментальных данных для опытного образца генератора ГСР-40НЧ, которые позволили бы провести анализ и дать заключение по результатам оптимизации тепловых процессов генератора с целью уменьшения его массы.

4. В четвертой главе автор констатирует, что "...тепловые и гидравлические расчеты экспериментального образца ГСР-90/120 показали, что в полученном объеме тепловая мощность достигает предельных значений в самых нагруженных элементах - обмоточных проводах в индукторе основного генератора".

Данный вывод сделан на основе математического моделирования с использованием в качестве исходных данных геометрической модели генератора, согласно разработанной 3D-модели. При этом для расчетов температур в элементах генератора использовались граничные условия 3-го рода. Однако экспериментальные данные генератора ГСР-90/120, подтверждающие сделанный вывод, автор в автореферате не приводит. В связи с этим, вызывает интерес в проведении сопоставительного анализа результатов, полученных расчетным и опытным путем.

5. Имеются некоторые неточности по тексту автореферата:

- рисунок 8 – опечатка в названии рисунка. На основании ГОСТ РВ 15.203-2001 по результатам предварительных испытаний конструкторской документации присваивается литера «О», а не литера «О1»;

- таблица 2 – уточнение терминологии: указано «3-кратное КЗ», вероятно имеется ввиду «режим 3-х фазного КЗ при кратности установившегося тока не менее 3»;

- таблица 5 – полная мощность при частоте 800 Гц ниже суммарных потерь - вероятно опечатка.

6. В качестве предложения рекомендуется провести исследование по оценке временных затрат и экономических показателей на выполнение ОКР с применением предлагаемой автором методологии оптимального проектирования высокооборотных синхронных генераторов.

14) **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»** - положительный отзыв на автореферат. Отзыв подписан Заведующим кафедрой электроники и электротехники, директором института силовой электроники, доктором технических наук, профессором Харитоновым С.А., профессором кафедры электроники и электротехники доктором технических наук, доцентом Калужским Д.М., подписи заверены начальником отдела кадров Пустоваловой О.К.

Замечания:

1. При обосновании направления исследований автор по непонятным причинам оставил без внимания системы электроснабжения на базе синхронных генераторов с комбинированным возбуждением, хотя, как нам известно, он является автором или соавтором одной из разработок в данном направлении.

2. В первой главе диссертации при критическом рассмотрении систем электроснабжения на базе магнитоэлектрического генератора для случая переменной выходной частоты не рассмотрен вариант параллельного подключения полупроводникового преобразователя с целью стабилизации напряжения. Такое включение значительно снижает его массу и габариты.

В дискуссии приняли участие:

члены диссертационного совета: Зечихин Б.С., Ковалев К.Л., а также руководитель проектов в АО "КРЭТ" Савченко Михаил Сергеевич.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются признанными специалистами в отрасли науки, к которой относится

диссертационная работа Каля В.А., а также их публикациями по данной тематике.

Выбор Костикова В.Г. – доктора технических наук, профессора, действительного члена Академии электротехнических наук РФ, начальника отдела публичного акционерного общества «Научно-производственное объединение «АЛМАЗ» в качестве официального оппонента обусловлена его высокой компетентностью в области создания систем электроснабжения авиационно-ракетной техники.

Выбор Захаренко А.Б. – доктора технических наук, доцента, начальника отдела общих научно-технических разработок акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ») обоснована его высокой компетентностью в области создания систем генерирования электроэнергии авиационно-космической техники.

Выбор Шевлюгина М.В. – доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроэнергетика транспорта» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский университет транспорта (МИИТ)" обоснована его высокой компетентностью в теории электротехники и моделирования процессов в электрических цепях.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») выбрана на основании ее достижений в области теоретических основ электротехники, электроэнергетики, робототехнических, мехатронных и гидромеханических систем и оборудования, надежности и устойчивости функционирования электроэнергетических систем, эксплуатации авиационного оборудования, включающего авиационные и автономные

системы электроснабжения, электрические комплексы и аппараты, позволяющих определить научную и практическую ценность диссертации.

Оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют публикации в международных и отечественных рецензируемых изданиях по теме работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **создана** система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, позволившая решить сложную проблему проектирования авиационных систем электроснабжения переменной частоты с улучшенными надежностью и энергоэффективностью для летательных аппаратов нового поколения.

В частности:

– **построена** концептуальная основа системного комплексного решения проблемы создания электромеханических преобразователей энергии летательных аппаратов нового поколения путем применения технологий имитационного моделирования, раскрытия механизмов внутренних потенциальных свойств высокооборотных синхронных генераторов, интеллектуальных систем и поверочных расчетов авиационных систем электроснабжения;

– **разработана** методология оптимального проектирования высокооборотного синхронного генератора, основанная на общепринятых принципах и методах проектирования электрических машин, которая определяет технический проект как основной этап разработки изделия. Методология содержит два взаимосвязанных процесса – поиск оптимального варианта синхронного генератора на каждом из этапов проектирования и имитационное моделирование режимов работы с помощью разработанной геометрии машины для анализа качества ее работы в составе системы генерирования;

– **предложен** метод согласования летно-технических, эксплуатационно-технических свойств систем электроснабжения и методологически обоснованы направления создания мощных электромеханических преобразователей энергии воздушных судов путем реализации требуемых свойств авиационных систем электроснабжения по улучшению удельных массо-энергетических характеристик;

– **обоснована** методология оптимального проектирования высокооборотных синхронных генераторов, в основе которой находится их полная 3D-модель с установленными атрибутами элементов модели, что позволило перейти к применению интеллектуальных систем проектирования электрических машин;

– **создана** и реализована информационно-техническая система обеспечения разработки мощных источников электрической энергии на основе синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, которая включает интеллектуальную подсистему поверочных расчетов авиационных систем электроснабжения;

– **предложен** принцип системного подхода формулирования задачи выбора рациональных технических решений трехкаскадных генераторов с электромагнитным возбуждением и исследованы алгоритмы и методы проектирования трехкаскадных генераторов с электромагнитным возбуждением, включая электромагнитные, тепловые, гидравлические и механические расчеты, отличающиеся степенью детализации параметров, геометрии машины, а также сокращенным временем расчета;

– **выявлены** и исследованы свойства высокооборотных синхронных генераторов созданных на основе оптимального проектирования, где полная их конструкция отражена в 3D-модели с установленными атрибутами элементов модели, что позволило перейти к применению интеллектуальных систем проектирования авиационных электрических машин;

– **проанализированы** и оценены закономерности электромагнитных процессов, протекающих в высокооборотных авиационных синхронных

генераторах переменного тока, создание которых возможно только с помощью подходов и методов оптимального проектирования;

– **решены** проблемы создания системы электроснабжения переменного тока переменной частоты самолета нового поколения типа Ил-112В.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **создана** и апробирована система разработки генераторов для электроснабжения летательных аппаратов, которая представляет собой совокупность методологий моделирования, расчета, поверки расчетов, анализа и синтеза электромеханических преобразователей, баз данных и баз знаний в виде алгоритмов и программ, аппаратных средств хранения и обработки информации, свода модифицированных производственных иерархических правил и рекомендаций принятия решений;

– **получены решения задач** обеспечения точности поверочных расчетов электрических машин, основанные на совместном использовании аналитических и полевых расчетов, разработан метод учета функциональных и конструктивных ограничений, накладываемых в процессе проектирования высокооборотных синхронных генераторов как на управляемые параметры, так и на промежуточные величины с помощью штрафных и барьерных функций специального вида, что позволяет использовать методы безусловной оптимизации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что созданная диссертантом система разработки генераторов для электроснабжения летательных аппаратов позволила создать:

– опытные образцы высокооборотного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением ГСР-40НЧ для самолета нового поколения Ил-112В, обладающие высокими удельными массо-энергетическими характеристиками;

– экспериментальный образец высокооборотного синхронного генератора ГСР-90/120 с номинальной мощностью 120 кВА для нового самолета типа МС-21, который по основным характеристикам не уступает синхронным генераторам американской корпорации Hamilton Sundstrand, поставляемым в комплекте с импортным авиадвигателем для данного типа воздушного судна, что соответствует программе по импортозамещению при переходе на отечественные авиадвигатели ПД-14;

– полные 3D-модели синхронных генераторов различной мощности во исполнение заказа Министерства промышленности и торговли РФ в течение 2015–2016 гг., включая системы электроснабжения самолетов, разработки фирмы «Гражданские самолеты Сухого» типа SSJ;

– технический проект синхронного генератора с электромагнитным возбуждением с номинальной мощностью 250 кВА и максимальной мощностью 500 кВА, работающего в диапазоне частот вращения 10800 ...24000 мин⁻¹ и ориентированного на установку на разрабатываемый авиадвигатель ПД-35.

Внедрение результатов исследований.

Основные научно-методические и опытно-конструкторские разработки внедрены в Акционерном обществе «Технодинамика», Акционерном обществе «Уфимское агрегатное производственное объединение», Публичном акционерном обществе «Ил», Публичном акционерном обществе «Корпорация «Иркут», Публичном акционерном обществе «Компания «Сухой» и других научно-исследовательских и производственных организациях Российской Федерации при разработке:

– опытного образца высокооборотного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением ГСР-40НЧ, обладающего улучшенными массо-энергетическими характеристиками, для самолета нового поколения Ил-112В в условиях серийного производства Акционерного общества «Уфимское агрегатное производственное объединение»;

– экспериментального образца высокооборотного синхронного генератора ГСР-90/120 с номинальной мощностью 120 кВА для нового

самолета МС-21, не уступающего по основным характеристикам синхронному генератору американской корпорации Hamilton Sundstrand.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– созданные опытные и экспериментальные образцы синхронных генераторов на основе теоретических разработок диссертации, позволили подтвердить их достоверность путем сравнения прогнозируемых и измеренных параметров данных образцов с применением оборудования, аккредитованного в Росстандарте;

– все теоретические решения частных задач работы подтверждены результатами экспериментов, предварительными и межведомственными испытаниями;

– теоретические положения и допущения, использованные в диссертации, представляются в достаточной степени обоснованными и непротиворечивыми, основанными на общепринятых положениях теорий электротехники и теплообмена, моделированием электромагнитных процессов, соблюдением правил составления и тестирования вычислительных программ и алгоритмов. Установлено качественное соответствие авторских результатов с результатами исследований, представленными в открытых независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

– разработано концептуальное представление проблемы создания высокооборотных синхронных генераторов как первичных источников электроэнергии на основе проблемно-целевого анализа и моделирования канала генерирования авиационной системы электроснабжения с требуемыми параметрами и показателями качества электроэнергии;

– систематизированы и обобщены закономерности этапа технического проектирования электрической машины, в результате которого создается полноценная конструкция на основе 3D-модели. Данный подход позволяет при условии атрибутирования элементов модели перейти к электронной технологии проектирования авиационных электрических машин;

– разработана методология проведения электромагнитных расчетов электрических машин на основе рационального использования аналитических методик и методов конечно-элементного анализа, включающих: концепцию и многоуровневую систему проектирования высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением на основе итерационных циклов на этапе технического проектирования; аналитические модели показателей и параметров, определяющих энергетическую эффективность высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением; методику проектирования конструкций высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением; способы проведения электромагнитных, механико-динамических, гидравлических и тепловых поверочных расчетов;

– разработаны и внедрены новые технические и технологические решения в конструкции авиационных синхронных генераторов системы электроснабжения нового поколения;

– сформулированы общие выводы и рекомендации по созданию авиационных систем генерирования воздушных судов различного класса.

Представленные в диссертационной работе результаты получены при непосредственном участии автора.

На заседании 29.10.2019 г. диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует паспорту специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты», удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 01.10.2018 г.) и **принял решение присудить Калию Валерию Алексеевичу ученую степень доктора технических наук.**

В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, на основании которых создана

система разработки высокооборотных генераторов с электромагнитным возбуждением для системы генерирования переменной частоты летательных аппаратов нового поколения, что вносит значительный вклад в развитие бортовой авиационной электроэнергетики для самолетов различного назначения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0 (нет), недействительных бюллетеней – 0 (нет).

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.07

д.т.н., с.н.с.

В.Т. Пенкин

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.07

к.т.н., доцент

Д.С. Дежин

29.10.2019 г.

И.о.начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аликينا

