

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента Шевлюгина Максима Валерьевича на диссертационную работу Каля Валерия Алексеевича «Система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность работы

В настоящее время в Российской Федерации ведется разработка летательных аппаратов различных классов с учётом общемировой тенденции развития концепции «более электрического самолета», направленной в целом на повышения эффективности бортовых систем электроснабжения.

Вновь создаваемые летательные аппараты нового поколения имеют существенное отличие, заключающееся в более высоком уровне электрификации, связанном с переходом на системы электроснабжения нестабильной частоты повышенной надёжности, заменой традиционных гидравлических и пневматических приводов силовыми электроприводами, использованием цифровых вычислительных технологий.

Для реализации указанной концепции создания более эффективных бортовых систем электроснабжения требуется разработка высокооборотных источников генерирования электрической энергии повышенной мощности с переменной частотой вращения.

Поэтому разработка и исследование системы комплексного проектирования высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, чему посвящена предлагаемая работа, является актуальным и перспективным направлением развития авиационной бортовой электроэнергетики.

Решение научной проблемы по созданию системы комплексного проектирования авиационных генераторов в сфере выполнения государственной задачи разработки новых высокоэффективных источников для систем электроснабжения перспективных воздушных судов, создаваемых в рамках концепции «более электрического самолета», осуществляется на основе новых подходов к анализу и синтезу конструкции и характеристик синхронных генераторов, в виде алгоритмов и программ, реализуемых на практике.

Степень обоснованности научных положений

Исследования, выполненные в данной диссертационной работе, проводилось с использованием синергетического подхода, что позволило создать систему комплексной разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, включающую этапы и процессы эскизного, технического и рабочего проектирования, совокупность методологий моделирования, расчетов, проверки 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.

В результате теоретических и экспериментальных исследований изучена информация, необходимая для разработки конструкций высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением для современных воздушных судов типа Ил-112В, МС-21.

Экспериментальные исследования осуществлялись в лабораторных условиях и на стендах конструкторских организаций, предприятий промышленности, летных испытаниях: АО «Уфимское агрегатное производственное объединение», АО «Технодинамика», ПАО «Ил», АО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество», ПАО «Туполев».

Основная цель диссертации заключается в создании методологических теоретических положений и научно обоснованных технических решений процесса проектирования источников электрической энергии для современных и перспективных авиационных систем электроснабжения с высокооборотными бесконтактными генераторами и стартер-генераторами с электромагнитным возбуждением без привода постоянной частоты вращения.

По целям исследования и решаемым проблемам исследование проведено по пунктам 2, 5 специальности 05.09.01.

Достоверность и новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов исследований определяется следующим:

- **идея базируется** на методе системного анализа качества электрической энергии, вырабатываемой системой электроснабжения и ее компонентами, а также математическим описанием алгоритмов управления;

- **теория построена** на положениях системного анализа, применены математическое и имитационное моделирование, теория параметрической оптимизации, основанная на поисковых методах. Методология

исследований основана на трудах по теории и методам проектирования электрических машин, на основании которых созданы специальные авиационные электрические машины, теории и матрично-топологических методах анализа линейных и нелинейных электрических цепей, которые обоснованы в опубликованных материалах по теме диссертации;

- **практические** результаты получены при оценке эксплуатационных свойств и характеристик системы генерирования самолета Ил-112В, при испытаниях генераторов ГСР-90/120;

- **использованы** данные по рассматриваемой тематике, полученные другими авторами для оценки авторских данных. Сравнение показало непротиворечивость результатов исследований;

- **установлено** качественное и количественное совпадение результатов теоретических исследований с результатами применения системы электроснабжения самолёта Ил-112В, совершившего первый полет;

- **использованы** современные методики организации эскизного, технического и рабочего проектирования, методики расчетов, проведения испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам.

Новизна исследований заключается в разработке научно обоснованных технических решений при создании систем генерирования электроэнергии повышенной мощности для новейших летательных аппаратов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиационной отрасли экономики России, и содержит:

– методику определения главных геометрических размеров высокооборотного синхронного генератора, основанную на применении метода неградиентного случайного поиска с обучением по способу Д.И. Гладкова;

– расчетную допустимую область главных размеров высокооборотного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением с номинальной мощностью 250 кВА и выше;

– методику имитационного моделирования режимов работы синхронного генератора, основанную на совместном решении двух типов динамического моделирования;

– методику оптимального проектирования высокооборотного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением, основанную на локальном применении параметрических методов поиска однозначно определенного критерия оптимальности на разных этапах проектирования;

– методологию оптимального проектирования высокооборотных синхронных генераторов как совокупность упорядоченных методов разработки конструкции на этапе технического проектирования;

– теоретические и экспериментальные данные, подтверждающие основные положения разработанной автором методологии оптимального

проектирования высокооборотных генераторов с электромагнитным возбуждением.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в формировании системного решения проблемы создания электромеханических преобразователей энергии воздушных судов нового поколения за счет использования информационных технологий и изученных закономерностей свойств высокооборотных синхронных генераторов, методологий поверочных расчетов авиационных систем электроснабжения.

На основе системного подхода сформирована многоплановая задача согласования тактико-технических, эксплуатационно-технических свойств систем электроснабжения и методологически обоснованы направления создания мощных электромеханических преобразователей энергии воздушных судов, что является развитием электротехнической науки.

Система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, представляющая собой методологию проектирования синхронных электрических машин для систем электроснабжения воздушных судов, позволила создать ряд генераторов электрической энергии, отвечающих современным требованиям, и развить теорию создания авиационных электрических генераторов большой мощности.

Система комплексной разработки авиационных генераторов электроэнергии 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 продукционных иерархических правил и рекомендаций принятия решений с использованием методологий Simulink, Matlab, сервисов сопровождения программного обеспечения Software Maintenance Service, пакета масштабируемых программных решений для поддержки жизненного цикла изделий Teamcentre, что является новым научным результатом.

Практическая ценность результатов исследования определяется внедрением технических решений по системам генерирования на новых воздушных судах ПАО «Ил» - Ил-112В, Ил-476, ПАО «НПК «Иркут» - МС-21, ПАО «Сухой» (АО «Гражданские самолеты Сухого») - SSJ-95В, использованием в процессе создания таких регламентирующих и руководящих документов, как государственные и отраслевые стандарты

ГОСТ, ОСТ, технические условия ТУ, общие тактико-технические требования ОТТ, руководящие документы РД.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Рассматриваемая диссертационная работа Каля В.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой автор четко обозначил направленность, актуальность, сформулировал проблему, сформировал цель и задачи исследования. Структура работы последовательная и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, написана хорошим научным языком и правильно оформлена.

Во введении обосновывается актуальность исследования, дается анализ состояния проблемы, излагаются основные научные положения, результаты внедрения.

В главе 1 проводится проблемно-целевой анализ путей построения системы разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, идентифицирована и формализована решаемая проблема, обоснована методология решения проблемы создания высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением и создания на их основе систем генерирования электроэнергии.

Глава 2 посвящена разработке методологических основ проектировочных, поверочных электромагнитных, тепловых, гидравлических и механических расчетов электрических машин и синтезу системы проектирования авиационных синхронных электрических машин, которая включает в себя электромагнитные, тепловые, механические, вентиляционные расчеты, разработку 3D-модели электрической машины и ее составных частей, конструкции, удовлетворяющей технологическим требованиям ее изготовления при минимальных затратах и хорошей эксплуатационной технологичности и надежности.

Система включает полевой электромагнитный расчет магнитной системы машины на основе систем уравнений Максвелла для синхронных генераторов методом конечных элементов с помощью методологии ANSYS Mechanical APDL и авторской методики расчета статических нагрузочных режимов и переходных процессов в связанной системе «основной генератор – возбудитель» путем одновременного численного моделирования непосредственно в нагрузочном режиме. Указанный аспект является развитием теории электротехники и электрических машин.

Глава 3 посвящена разработке методологической базы оптимального проектирования авиационных высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением методами выделения ведущего критерия оптимальности. Необходимые и достаточные другие критерии образуют множество ограничений в виде штрафных и барьерных функций.

Новизну исследования в главе представляет методология оптимального проектирования высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, основанная на трех принципах:

– полная конструкция электрической машины создается на этапе технического проектирования по традиционной технологии с выпуском рабочей конструкторской документации, или по технологии электронной документации;

– оптимальное проектирование осуществляется путем поиска наилучшего локального экстремума с помощью достижения локальных оптимумов на каждом из этапов проектирования;

– единство этапов проектирования, включенных в единый алгоритм.

В главе 4 представлены практические результаты проектирования высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением различной мощности в рамках ОКР, НИР и НИОКР для современных и перспективных отечественных воздушных судов:

— даны характеристики опытного образца высокооборотного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением ГСР-40НЧ системы электроснабжения СГ-112-115 легкого транспортного воздушного судна нового поколения типа Ил-112В в условиях серийного производства АО «УАПО», обладающего высокими масса-энергетическими удельными характеристиками;

— приведен экспериментальный образец высокооборотного синхронного генератора ГСР-90/120 с номинальной мощностью 120 кВА для воздушного судна МС-21, который по основным характеристикам не уступает синхронным генераторам американской корпорации Hamilton Sunstrand, предварительно устанавливаемого на это воздушное судно;

— приведены 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 общества АО «Гражданские самолеты Сухого» типа SSJ;

— приведен технический проект синхронного генератора с электромагнитным возбуждением номинальной мощностью 250 кВА и максимальной мощностью 500 кВА, который работает в диапазоне частот вращения 10800...24000 об/мин. Данная электрическая машина действующих аналогов в России не имеет.

В заключении даются обобщенные выводы и рекомендации по работе в целом, которые обоснованы и логично вытекают из материалов диссертации.

Личный вклад автора состоит в идентификации проблемы, формулировании цели и постановке задач исследования, разработке методологии, технических и технологических решений, непосредственном участии в выполнении основного объема теоретических и

экспериментальных исследований опытных и экспериментальных образцов, системном анализе полученных результатов и формулировке выводов, создании опытных и экспериментальных образцов, подготовке основных публикаций по выполненным исследованиям.

Вместе с тем, **представленная работа не лишена недостатков**, основными из которых являются:

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

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

3 Недостаточно чётко 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 наложенной на конструкцию генератора эпюрой неизвестной физической величины, изменяющейся в неуказанных пределах.

5 В подразделе 2.2 приведено описание совмещённой 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.

Заключение

Автор диссертации Калий Валерий Алексеевич решил крупную научную и актуальную проблему, имеющую большое народно-хозяйственное значение, заключающееся в создании системы разработки

высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением, на базе которой созданы научно обоснованные технические решения для авиационных систем генерирования электроэнергии современных воздушных судов.

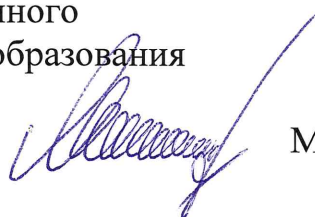
Работа содержит новые научные и практические результаты и положения, способствующие развитию авиационной электроэнергетики и повышению эффективности образцов авиационной техники гражданской и государственной авиации России, имеющие существенное значение для обеспечения обороноспособности страны.

Основные материалы и результаты диссертации изложены в 30 опубликованных автором работах, в том числе в 12 статьях в изданиях, включенных ВАК РФ в перечень для опубликования докторских диссертаций и изданиях, входящем в международную систему цитирования «Scopus», одной рецензируемой монографии. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, оформлен в соответствии с имеющимися требованиями, стиль изложения и представленные в нем материалы способствуют пониманию существа диссертационной работы.

Тема диссертационной работы и ее содержание соответствуют паспорту специальности 05.09.01 – Электротехника и электрические аппараты.


Диссертация соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук согласно Положению о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, № 842), а диссертант Калий Валерий Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 – Электротехника и электрические аппараты.

Официальный оппонент –
Заведующий кафедрой
«Электроэнергетика транспорта»
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
"Российский университет транспорта",
доктор технических наук, доцент



М.В. Шевлюгин

Шевлюгин Максим Валерьевич
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр.9.
Контактный телефон: 8-916-528-67-68
e-mail: mx_sh@mail.ru

Подпись руки	
Заверяю	
Начальник Отраслевого центра подготовки научно – педагогических кадров высшей квалификации	
	С.Н. Коржикин

