



АО «НИИЭМ»

Акционерное общество

«Научно-исследовательский институт электромеханики»

ОГРН 1095017003652 ОКПО 04657145 ИНН/КПП 5017084537/501701001

Панфилова ул., д. 11, г. Истра, Московская область, 143502; тел.:(495) 994 51 10, факс: (499) 254 53 75

Для телеграмм: 143500 Истра ВЕКТОР; E-mail: info@niiem.ru

21.08.19 № 21/230

На № \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Калия** Валерия Алексеевича  
«Система разработки высокооборотных авиационных синхронных  
генераторов с электромагнитным возбуждением»,  
представленной на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности  
05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»

Диссертация **Калия** В.А. посвящена проблеме создания систем электроснабжения и мощных силовых электрических приводов в авиационных комплексах гражданского и военного назначения на основе высокооборотных синхронных генераторов электромагнитного возбуждения с высокими удельными характеристиками, параметрами и показателями качества электроэнергии. В диссертации отмечено три основных аспекта в проблеме создания первичных источников тока, определяющих самостоятельные научно-технические разделы:

1. Создание энергетически эффективных систем электроснабжения переменного тока переменной частоты широкого диапазона.
2. Создание электромеханических преобразователей энергии, обладающих функциями стартера-генератора.
3. Оптимальное проектирование электромеханических преобразователей энергии для достижения энергетической их эффективности в составе системы электроснабжения.

Целью диссертационной работы является разработка методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование источников электрической энергии для современных и перспективных авиационных систем электроснабжения летательных аппаратов на основе высокооборотных бесконтактных генераторов с электромагнитным возбуждением без привода постоянной частоты вращения, в условиях снижения времени и трудоемкости проектирования.

Диссертантом показано, что достижение сформулированной цели требует решения ряда методических, научно-исследовательских и инженерно-технических задач, основными из которых являются:

- разработка концепции представления проблемы создания первичных источников электроэнергии для электропитания летательного аппарата на основе высокооборотных синхронных генераторов с требуемыми параметрами и показателями качества преобразования электроэнергии;
- определение эффективных подходов к анализу статических и динамических режимов синхронного генератора с электромагнитным возбуждением на основе имеющихся методик и создание новых на основе разных аспектов моделирования;

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № \_\_\_\_\_  
"02 09 2019"

- разработка алгоритмов проектирования синхронных генераторов на основе применения методов поиска локальных экстремумов, определенных по критерию оптимальности на разных этапах проектирования;
- разработка алгоритмов полного проектирования конструкции синхронного генератора с учетом электромагнитных, механико-динамических, гидравлических и тепловых расчетов в процессе технического проектирования;
- систематизация и обобщение закономерностей этапа технического проектирования электрической машины, в результате которого создается полноценная конструкция на основе 3D-модели, что позволяет перейти к безбумажной технологии проектирования источников питания;
- разработка методологии проведения электромагнитных расчетов электрических машин на основе рационального использования аналитических методик и методов конечно-элементного анализа.

Для решения сформулированных задач использовались методология и методы исследований, основанные на эмпирическом, эвристическом, теоретико-множественном моделировании, с привлечением и использованием фундаментальных отечественных и зарубежных трудов по теории, методам, методикам проектирования электрических машин, реализованных в проектах авиационных электрических машин на отечественных и зарубежных воздушных судах. Необходимо было создавать объёмные математические модели с привлечением серьёзного математического аппарата, с чем диссертант, несомненно, успешно справился.

В результате диссертационной работы получены следующие результаты:

- разработана расчетная 3-D модель бесконтактного синхронного генератора с электромагнитным возбуждением с номинальной мощностью 250 кВА для работы в канале системы генерирования тяжелого самолета в широком диапазоне частот вращения от 10800 до 24000 мин<sup>-1</sup>;
- разработана методика определения главных геометрических размеров высокооборотного синхронного генератора, основанная на применении метода неградиентного случайного поиска с обучением;
- разработана методика имитационного моделирования режимов работы синхронного генератора, основанная на совместном решении двух типов задач динамического моделирования: связанных геометрических моделей, исследуемых методом конечных элементов и системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами;
- разработана система проектирования высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением на основе итерационных циклов на этапе технического проектирования.

Полученные теоретические результаты позволили успешно провести ряд опытно-конструкторских разработок по созданию нескольких образцов высокооборотных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением мощностей 40, 120 кВт, и других, обладающих высокими массо-энергетическими удельными характеристиками. Кроме того создан технический проект синхронного генератора с электромагнитным возбуждением с номинальной мощностью 250 кВА, с диапазоном регулирования частот вращения от 10800 до 24000 мин<sup>-1</sup>, не имеющего аналога.

Однако, на наш взгляд, автор недостаточное внимание уделил применению в качестве основного канала генерирования первичной системы электроснабжения генератору с магнитоэлектрическим возбуждением с применением высококоэрцитивных постоянных магнитов и электронной системой управления. При прочих равных условиях они имеют меньшую массу, меньшие потери за счет отсутствия обмотки возбуждения и необходимости управления ею. Это позволяет получить более высокий КПД, упростить систему возбуждения, улучшить охлаждение закрытых машин, существенно повысить надежность генератора за счет упразд-

нения вращающегося выпрямителя. Применение современных средств электроники делает систему управления генератора с постоянными магнитами, работающего в широком диапазоне изменяющихся скоростей вращения, конкурентоспособной в сравнении с заявленной.

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 удельной массы. Однако в классическом электромашиностроении, 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.

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 линейными параметрами. Результаты получаются при нескольких шагах итерации.

Спорным является и вопрос о повышении точности расчетов с увеличением числа источников потерь и теплопроводящих элементов в объеме машины при разбиении на более мелкие фрагменты. В конечном счёте, речь идёт о схеме замещения с громадным количеством узлов и эквивалентных параметров. Точность результатов в тепловых и гидравлических расчетах определяется не степенью деления объёма машины на микроэлементы, 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.

Хотелось бы заметить, что при столь серьёзной 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 инженерам, не имеющим столь большого опыта и мощной вычислительной техники.

Основное содержание диссертации опубликовано в виде научных статей в журналах, рекомендуемых ВАК, доложены на многих конференциях. Автором получены ряд патентов, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Работа актуальная, сделанные замечания не умаляют её достоинства, а недостатки не влияют на общую положительную оценку работы **Каля В.А.**

Диссертация отвечает требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук.

Директор-главный конструктор,  
ОЭМИП АО «НИИЭМ»

Ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук



А.В. Бубен

М.Л. Круглова