

АЭРОЭЛЕКТРОМАШ
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

127015, Россия, г. Москва, ул. Большая Новодмитровская, д. 12, стр. 15
Тел.: (495) 980-65-01, факс: (495) 980-65-08, e-mail: aeroel@mail.ru

14.12.15 № 2-7003

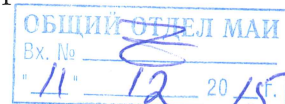
Учёный совет МАИ

125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, заместителя главного конструктора ОАО «Аэроэлектромаш» Савенко Валерия Ананьевича на диссертацию Мисютина Романа Юрьевича на тему «Автоматизированное конструирование авиационных генераторов с постоянными магнитами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»

В настоящее время мощность авиационных систем электроснабжения постоянно увеличивается, поэтому задача повышения мощности используемых в них генераторов является весьма актуальной. Благодаря своим преимуществам генераторы с постоянными магнитами способствуют решению этой задачи. Наиболее эффективно применение генераторов с постоянными магнитами в системах электроснабжения постоянного тока, в которых они являются альтернативой генераторам с электромагнитным возбуждением. Конструированию генераторов с электромагнитным возбуждением посвящено большое количество работ. Проблемам конструирования генераторов с постоянными магнитами не уделялось достаточно внимания. В диссертации рассматриваются проблемы, возникающие при конструировании генераторов с постоянными магнитами, имеющих мощность в несколько сотен и более кВА. Автоматизация конструирования таких генераторов повышает эффективность их проектирования и является актуальной задачей.



BS EN ISO 9001:2008
EN 9100:2009
AS 9100 Rev C



ГОСТ Р ИСО 9001-2008
ГОСТ РВ 15.002-2003
СРПП ВТ

Основные результаты работы и ее научная новизна.

Научная новизна результатов работы обусловлена следующими положениями:

- в качестве альтернативы генераторам с электромагнитным возбуждением показана целесообразность использования генераторов с постоянными магнитами в системах электроснабжения постоянного тока повышенной мощности;
- определены области рационального использования роторов с постоянными магнитами;
- разработан способ уменьшения концентраторов механических напряжений в обойме ротора, который обеспечивает повышение его прочности без изменения толщины обоймы;
- разработан способ расчета нагрева постоянных магнитов, основанный на численном анализе потерь в обоймах роторов, которые вызваны зубчатостью статора, что позволяет использовать в электромагнитном расчете характеристику магнита, соответствующую его температуре и определять допустимость использования выбранной марки магнита в данной конструкции ротора;
- разработан метод расчета сил магнитного притяжения многополюсных генераторов с постоянными магнитами, основанный на вычислении величины магнитной индукции в рабочем зазоре под каждым полюсом генератора с помощью аналитического представления магнитного поля возбуждения постоянных магнитов.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что разработанные автором уточненные методики конструирования авиационных генераторов с постоянными магнитами и проектирования валов сложной конфигурации путем внедрения компьютерных технологий, позволяющих проектировать валы необходимой прочности и критической частоты, позволяют сократить затраты при создании систем электроснабжения постоянного тока повышенной мощности.

К основным результатам работы относятся следующие:

- показана возможность использования генераторов с постоянными магнитами в системах электроснабжения постоянного тока повышенной мощности, как альтернативных генераторам с электромагнитным возбуждением;
- разработана методика конечно-элементного анализа конструкций обойм роторов;
- выполнен сопоставительный компьютерный анализ тепловых потерь в обоямах роторов, обусловленных зубчатостью статора, что позволяет сделать выводы о необходимости разработки системы охлаждения ротора для конкретного типа обоймы;
- разработан способ расчета нагрева постоянных магнитов, который позволяет уточнить электромагнитный анализ и установить допустимость использования магнитов выбранной марки;
- для расчета сил магнитного притяжения разработана методика конечно-элементного анализа и уточнена аналитическая методика расчета;
- методом конечных элементов уточнена аналитическая методика проектирования валов сложной конфигурации;
- разработана интенсивная система охлаждения статора, позволяющая повысить плотность тока в его обмотке и, как следствие, мощность генератора;
- предложен способ уменьшения концентрации механических напряжений в обойме ротора, который обеспечивает повышенную прочность ротора и позволяет увеличить частоту его вращения и, как следствие, мощность генератора;
- уточнена методика конструирования авиационных генераторов с постоянными магнитами.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 128 страницах и включает в себя 67 рисунков и 5 таблиц. Список литературы состоит из 104 наименований.

В первой главе рассмотрены основные системы электроснабжения, используемые на самолетах, изложены преимущества и недостатки рассматриваемых систем. Приводится сравнение генераторов с электромагнитным возбуждением и с возбуждением от постоянных магнитов, рассматриваются их преимущества и недостатки. В главе представлены результаты прочностного анализа роторов явнополюсной и неявнополюсной конструкции. Показана последовательность проектирования авиационных синхронных генераторов. Обоснована целесообразность использования генераторов с постоянными магнитами в системах электроснабжения постоянного тока повышенной мощности как альтернативных генераторам с электромагнитным возбуждением.

Во второй главе рассмотрено проектное конструирование генераторов с постоянными магнитами. Показаны преимущества и недостатки роторов с радиальными и тангенциальными магнитами. Проведено исследование основных конструктивных схем крепления магнитов на роторе, дан их механический и электромагнитный анализ, указаны их преимущества и недостатки. Исследованы также концентраторы механических напряжений, возникающие в обойме ротора. Разработан способ уменьшения концентрации этих напряжений, эффективность которого подтверждена физическим экспериментом.

В третьей главе представлен алгоритм автоматизированного расчета прогиба и критических частот вращения роторов с постоянными магнитами. Разработана аналитическая методика расчета сил магнитного притяжения на основе выражения магнитной индукции в рабочем зазоре для активной зоны

с постоянными магнитами. Предлагаемая методика учитывает изменение индукции в рабочем зазоре при эксцентриситете с учетом потоков рассеяния. Приведены результаты численного эксперимента методом конечных элементов, подтверждающие справедливость предлагаемой методики расчета силы магнитного притяжения. Показана зависимость силы магнитного притяжения от числа пар полюсов.

В четвертой главе рассмотрены температурные условия работы постоянных магнитов в роторе с различными типами обойм. Проведен конечно-элементный анализ потерь, обусловленных зубчатостью статора, в основных типах бандажей. Разработана методика расчета нагрева постоянных магнитов, которая позволяет оценить температуру нагрева магнита и определить допустимость его использования в данной конструкции ротора, а также использовать в электромагнитном анализе реальную характеристику постоянного магнита, соответствующую его температуре. Предложена система жидкостного канального охлаждения статора, которая позволяет снизить температуру статора, повысить плотность тока в его обмотке, увеличить линейную нагрузку машины и, как следствие, ее мощность.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность научных результатов и практических рекомендаций, представленных в диссертации определяется следующими факторами:

- использованием фундаментальных, доказанных ранее и проверенных практикой методов и результатов;
- сходимостью результатов, полученных при исследованиях на математических моделях, достаточно полно отражающих совокупность факторов, влияющих на исследуемые процессы, с данными физического эксперимента.

Результаты работы докладывались на 5 научных конференциях. Автором получено 2 патента на изобретение, опубликовано 2 работы в

журналах, рекомендованных ВАК РФ. В публикациях достаточно полно отражены основные результаты исследований.

Замечания:

1. В работе не рассмотрен вопрос выбора и работы подшипниковых узлов, в значительной степени определяющих ресурс генератора с постоянными магнитами.

2. При расчете рабочей температуры постоянных магнитов не произведена оценка влияния на температуру тепловых потерь от трения ротора о воздух.

3. В диссертации отсутствует анализ влияния силы магнитного притяжения на критическую частоту вращения ротора.

4. При расчете температуры постоянных магнитов не указана система охлаждения ротора и не приведены значения коэффициентов теплоотдачи с поверхности ротора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Мисютина Романа Юрьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, ее результаты представляют значительный научный и практический интерес для авиационной и наземной электроэнергетики. Отмеченные замечания не снижают общей значимости работы и важности полученных в ней результатов. Автореферат отражает основное содержание диссертации и полностью ей соответствует. Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мисютин Роман Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

**К.т.н., зам. гл. конструктора
ОАО «Аэроэлектромаш»**



/Савенко В.А./

Адрес: Москва, Большая Новодмитровская, 12
Тел.: (495) 980-65-02, e-mail: Aeroel@mail.ru