

**ОТЗЫВ**  
официального оппонента  
на диссертационную работу Вавилова Вячеслава Евгеньевича  
«Методология создания систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с  
магнитоэлектрическими преобразователями энергии»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности  
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

**На отзыв представлены:**

- диссертационная работа, состоящая из введения, семи глав, заключения, 11 актов внедрения, библиографического списка из 339 наименований. Полный объем работы составляет 395 страниц;
- автореферат диссертации с общей характеристикой работы, кратким изложением основного содержания и результатов исследования.

**Актуальность темы диссертации**

Развитие техники идёт по пути масштабной электрификации всех без исключения транспортных средств. Если для наземных транспортных средств проблемы массы, габаритов и надёжности электрической подсистемы не настолько критичны, так как позволяют пусть и не оптимально, но решать задачу перемещения, то для летательных аппаратов эти вопросы имеют первостепенное значение.

Из-за высоких скоростей перемещения летательные аппараты имеют один из самых высоких удельных расходов энергии на преодоление километра пути. Поэтому, имея большое число электромобилей на дорогах, до сих пор электрические летательные аппараты занимают очень ограниченный сегмент, где они могут эффективно выполнять свои задачи. И здесь проблемой является не только хранение большого запаса энергии для полёта, но и эффективный процесс электромеханического преобразования энергии для её получения или работы пропульсивной системы. В представленной диссертации рассмотрены лишь системы генерирования энергии, однако предложенные подходы применимы и для электродвижения, ввиду обратимости электромеханического преобразования энергии.

Таким образом, развитие теории систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов на основе электромеханических преобразователей энергии с высококоэрцитивными постоянными магнитами и создание методологии комплексного

анализа и разработки систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с магнитоэлектрическими преобразователями энергии являются актуальными предметами исследования, как и тема диссертационного исследования.

### **Новизна исследований и полученных результатов**

Новизна исследований заключается в целостном подходе к проектированию электромеханических преобразователей энергии, учитывающем не только электромагнитные и тепловые процессы в качестве критериев для оптимизации конструкции, но произведён учёт возможных аварийных ситуаций для обеспечения безопасной работы системы генерирования электроэнергии при частичных отказах.

Высококоэрцитивные постоянные магниты позволяют существенно повысить КПД и снизить массогабаритные характеристики, однако они же являются источником потенциальных проблем при частичных отказах оборудования, когда нет возможности расцепить вал генератора и первичного источника энергии, и производимая ЭДС приводит к возникновению токов короткого замыкания, что потенциально может привести к пожару, особенно опасному на борту летательного аппарата.

Полученные автором диссертационного исследования подходы к проектированию электромеханических преобразователей энергии, позволяющие решить проблему частичных отказов при сохранении безопасного теплового режима функционирования без применения сложных решений с дополнительными обмотками на роторе, являются новыми и существенно значимыми для развития теории проектирования систем генерирования энергии летательных аппаратов и их пропульсивных систем.

Таким образом, исследования и полученные результаты, представленные в диссертации, обладают новизной.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость результатов работ подтверждена реализацией решений в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, нашедших своё применение в системах электроснабжения летательных аппаратов, что отражено актами внедрения.

Диссертационная работа достаточно подробно описывает методы и результаты исследований, может быть использована в качестве практического руководства при проектировании подобного класса электромеханических преобразователей энергии и

систем электроснабжения на их основе, что говорит о несомненной практической значимости диссертационного исследования.

Полученные результаты можно использовать, в том числе, в образовательной деятельности в рамках курсов «Электрические машины», «Конструкция, эксплуатация и основы проектирования специальных изделий», «Расчет и проектирование электрических машин» и других курсов.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Диссертационная работа содержит обоснование всех принятых решений, которые продиктованы скрупулёзным анализом литературных источников, переработаны и верифицированы численными математическими методами. Все научные положения, выводы и рекомендации были обоснованы и подтверждены экспериментально.

### **Подтверждение опубликованных основных результатов работы**

Основные результаты работы были опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Апробация работы проводилась на международных конференциях, включая конференции International Conference on Electrical Power Drive Systems 2018, International Symposium on Power Electronics, Electric Drives 2018, International Workshop on Electric Drives 2018, 2019, 2020, 2021, Industrial Electronics Conference 2016, 2017 и других. В том числе на английском языке опубликовано 38 статей, в том числе в изданиях первого квадриля 7 статей, 4 монографии, 46 патентов РФ, 12 патентов на полезную модель.

### **Соответствие работы научной специальности**

Диссертационная работа выполнена по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы». Соответствие данной специальности определяется комплексностью исследований, включающей в себя проектирование электромеханических преобразователей энергии с учётом топологий силовой полупроводниковой преобразовательной техники для приведения частоты и напряжения к параметрам бортовой сети летательного аппарата. Таким образом, представленная работа полностью соответствует определению специальности 05.09.03.

### **Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работе**

1. Рис. 1.10 содержит функциональную схему силового преобразователя системы электроснабжения переменного тока летательного аппарата. Как и большинство

перспективных схем силовой электроники, она выполнена на базе инверторов напряжения с высокочастотными ключами, которые в процессе работы прикладывают к электромеханическому преобразователю фиксированные уровни напряжения, формирующие широкий спектр частот, кратных периоду модуляции. Вместе с тем, в диссертации потери в магнитопроводе оцениваются исключительно по первой гармонике. Как наличие широтно-импульсной модуляции в перспективных схемах электроснабжения скажется на методике проектирования генераторов?

2. В некоторых случаях в тексте диссертации отсутствуют данные, которые необходимы для полного понимания условий эксплуатации проектируемого оборудования. Например, на стр. 117 указывается массовый расход воздуха на охлаждение, однако не указано давление и температура.

3. В главе 3 представлен анализ поведения ротора с высококоэрцитивными постоянными магнитами при различных температурах и делаются выводы о применимости типа магнита в зависимости от температуры, однако следовало бы уделить также внимание старению магнитов в процессе эксплуатации электромеханического преобразователя энергии, а также определить факторы, влияющие на процесс старения.

4. Раздел 4.1 описывает работу генератора совместно с управляемым выпрямителем, однако в нём представлены только схемотехнические решения для неуправляемых выпрямителей рис. 4.2, 4.3 и 4.4, а предложенная автором схема описана только в тексте, что затрудняет понимание принципа её работы. Вместе с тем, в описании указано, что корректор коэффициента мощности, который используется для регулирования уровня напряжения, построен на базе «транзистора, дросселя и диода». Становится непонятным назначение дросселя, так как вместо него в системах генерирования вполне можно использовать индуктивность фазы генератора. Кроме того, применение диода следует обосновывать, так как в большинстве случаев в данных применениях предпочтительным оказывается использование MOSFET-ключей, работающих в режиме синхронного выпрямления.

## **Заключение**

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общего хорошего впечатления о работе. Диссертационная работа Вавилова Вячеслава Евгеньевича «Методология создания систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с магнитоэлектрическими преобразователями энергии», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук, выполнена на высоком уровне с использованием современных методов исследований и представляет собой законченную научно-

квалификационную работу. Текст работы изложен грамотным языком и хорошо оформлен. Все приведённые в работе положения подкреплены результатами моделирования и экспериментов. Работа выполнена в объёме, достаточном для диссертации, представленной на соискание учёной степени доктора технических наук. Актуальность темы исследований не вызывает сомнений. В диссертации получены новые научно-обоснованные технические результаты, направленные на решение задачи проектирования и повышению надёжности систем генерирования электрической энергии в летательных аппаратах, что имеет существенное значение для развития электротехнической отрасли страны и самолётостроения.

По содержанию и по форме работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Вавилов Вячеслав Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой Автоматизированного электропривода  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Анучин Алексей Сергеевич  
27 сентября 2021 г.

**Полное наименование организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Юридический адрес:**

111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14

**Тел.:** +7 495 362-75-60

**E-mail:** universe@mpei.ac.ru



Подпись Анучина Алексея Сергеевича заверяю

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ  
ДОБРОЛЮБОВА ОЛЕГА НАДЕЖДЫ ЧЕРНОВА