ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию 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:

- Диссертация «Методология создания систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с магнитоэлектрическими преобразователями энергии», содержащая введение, семь глав, заключение, список использованной литературы из 339 наименований и 20 приложений, общим объемом 392 страниц.

- Автореферат диссертации.

Актуальность темы. Диссертационная работа Вавилова В.Е. посвящена решению масштабной научной проблемы – развитию теории систем генерирования электроэнергии (СГЭ) летательных аппаратов (ЛА) на основе электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) с высококоэрцитивными постоянными магнитами (ВПМ), созданию методологии комплексного анализа и разработки СГЭ ЛА с магнитоэлектрическими преобразователями энергии. Решение данной крупной научной проблемы обеспечит создание перспективных высокомощных СГЭ ЛА при минимальных затратах времени и средств.

Общемировые экономические и экологические проблемы, связанные с повышением энерговооруженности и энергоэффективности авиационных и космических ЛА, вопросы повышения тактико-технических характеристик ЛА до границ физических возможностей становятся на современном этапе развития науки и техники первоочередными задачами, разрешение которых обеспечит развитие, в том числе, смежных отраслей промышленности, повышение обороноспособности РФ и подъём экономики РФ за счет создания новых инновационных продуктов с широкими экспортными возможностями.

Для повышения энерговооруженности и энергоэффективности ЛА, в условиях конкуренции авиастроительных корпораций и требований по минимальности сроков создания новых ЛА, необходимо обеспечить повышение мощности СГЭ при минимальности массогабаритных показателей, увеличении КПД и повышении надежности СГЭ с одновременным сокращением временных и материальных затрат. Поэтому актуальность диссертационной работы Вавилова В.Е., посвященной развитию методологии создания систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с магнитоэлектрическими преобразователями энергии, не вызывает сомнений.

УГАТУ
Вх. № 266-13
от 13.03.2020

Цель работы - разработка и создание мощных, энергоэффективных и отказоустойчивых СГЭ на основе ЭМПЭ с ВПМ для современных и перспективных ЛА при минимальных затратах времени и средств.

Основные задачи, решенные соискателем в работе:

1. Разработка обобщенной структурной модели СГЭ ЛА на основе ЭМПЭ с ВПМ с учетом тенденций развития современных ЛА, учитывающей возможности интеграции ЭМПЭ с ВПМ в силовую установку ЛА и позволяющей выполнять исследования СГЭ ЛА при условии многовариантности построения.

2. Разработка и исследования обобщенной математической модели, описывающей процессы в ЭМПЭ с ВПМ в установившихся и переходных режимах, учитывающей взаимовлияние тепловых, механических и электромагнитных процессов, а также процессов в подшипниковых узлах и влияние эксцентриситета ротора на параметры ЭМПЭ с ВПМ.

3. Многокритериальная оптимизация агрегатов, входящих в СГЭ ЛА по заданным критериям и разработка алгоритма, позволяющего выполнять процесс многодисциплинарного проектирования СГЭ ЛА на основе ЭМПЭ с ВПМ.

4. Разработка нового метода обеспечения отказоустойчивости ЭМПЭ с ВПМ в части защиты ЭМПЭ с ВПМ от витковых коротких замыканий, обеспечивающего минимизацию последствий витковых замыканий ЭМПЭ с ВПМ, а также купирование поврежденной катушки или фазы. Разработка методики компьютерного моделирования процессов при различных видах коротких замыканий (в том числе витковых) в ЭМПЭ с ВПМ.

5. Исследование режимов работы ЭМПЭ с ВПМ совместно с регулятором напряжения в составе СГЭ и оценка эффективности различных способов стабилизации напряжения ЭМПЭ с ВПМ в составе СГЭ ЛА. Разработка методики исследования магнитных полей в программном комплексе Ansys, позволяющей минимизацию временных затрат при компьютерном моделировании ЭМПЭ с ВПМ.

6. Анализ и создание алгоритмов расчета потерь в стали в агрегатах СГЭ при частотах более 400 Гц, выбора материалов и расчета ЭМПЭ, трансформаторно-выпрямительных устройств нового поколения на основе магнитопроводов из аморфного железа, разработка нового метода изготовления магнитопровода статора ЭМПЭ из аморфного железа.

7. Разработка, создание и внедрение новых, научно обоснованных конструктивных схем высокоэффективных агрегатов СГЭ. Экспериментальные исследования характеристик ЭМПЭ с ВПМ в статическом и динамическом режимах и анализ особенностей эксплуатации ЭМПЭ с ВПМ в различных режимах работы СГЭ ЛА.

По формуле специальности диссертация соответствует научной специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы» так как в диссертации «...объектами изучения являются электротехнические комплексы и системы генерирования электрической энергии ... аэрокосмической техники, ... специаль-

ной техники…», а также разрабатываются мероприятия для электротехнических систем генерирования электроэнергии, которые «… должны обеспечивать эффективное и безопасное функционирование этих систем в широком диапазоне внешних воздействий».

По области исследования и решаемым задачам диссертация соответствует следующим пунктам специальности:

п. 1. «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем».

п. 3. «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления».

п. 4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях».

Новизна исследований и полученных результатов

1. Предложена методология создания СГЭ ЛА, отличающаяся от известных тем, что учитывает взаимозависимости тепловых и электромагнитных процессов агрегатов СГЭ ЛА, возможность совместной комплексной оптимизации характеристик агрегатов СГЭ ЛА и позволяет выполнять процесс многодисциплинарного проектирования СГЭ ЛА на основе ЭМПЭ с ВПМ при минимальных временных и материальных затратах.

2. Разработана обобщенная структурная модель СГЭ ЛА на основе ЭМПЭ с ВПМ с учетом тенденций развития современных ЛА, отличающаяся учетом системных связей компонентов СГЭ ЛА, параллельной реализацией нескольких СГЭ ЛА и прямой интеграцией ЭМПЭ с ВПМ в силовую установку ЛА, а также многофазностью и дублируемостью элементов в отказоустойчивых ЭМПЭ с ВПМ СГЭ ЛА, что позволяет выполнять исследования СГЭ ЛА при условии многовариантности их построения. На основе обобщенной структурной модели предложены частные структурные модели для основных СГЭ ЛА.

3. Развита обобщенная математическая модель, описывающая процессы в ЭМПЭ с ВПМ, как основного компонента СГЭ ЛА, в переходных и установившихся режимах, учитывающая взаимное влияние тепловых, механических и электромагнитных процессов, процессов в подшипниковых узлах.

4. Разработана и проведена по заданным критериям многопараметрическая совместная оптимизация компонентов, входящих в СГЭ ЛА.

5. Предложен новый метод обеспечения защиты ЭМПЭ с ВПМ от витковых коротких замыканий, отличающийся тем, что учитывается гальваническая, термическая и электромагнитная связь обмоток ЭМПЭ с ВПМ, что позволяет сохранять работоспособность ЭМПЭ с ВПМ при витковых

коротких замыканиях и изолировать одну из фаз или катушек ЭМПЭ с ВПМ. Исследована и показана возможность обеспечения защиты ЭМПЭ с ВПМ без дополнительных обмоток на роторе от витковых коротких замыканий.

6. На основе результатов теоретических исследований предложен новый метод гибридной стабилизации напряжения ЭМПЭ с ВПМ, который отличается от известных тем, что позволяет обеспечивать стабилизацию напряжения ЭМПЭ с ВПМ путем применения обоснованных технических решений, в части магнитных систем ротора и статора, не ухудшающих массогабаритные показатели ЭМПЭ с ВПМ, в отличие от известных параметрических способов стабилизации напряжения.

7. Разработан метод компьютерного моделирования коротких замыканий ЭМПЭ с ВПМ в программном комплексе Ansys Maxwell, отличающийся от известных тем, что учитывает механические процессы, взаимовлияние конструктивных размеров ЭМПЭ с ВПМ и параметров обмотки, позволяет исследовать как отдельные типы коротких замыканий, так и их различные сочетания.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. В диссертации сформирована методология создания систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с магнитоэлектрическими преобразователями энергии, которая представляет собой набор разработанных методов, обобщенных матриц и обобщенных математических моделей. Предложенная методология приведена в виде структурной схемы, учитывающей все взаимосвязи процесса проектирования СГЭ ЛА, что позволяет минимизировать временные и материальные затраты.

2. Разработанные автором алгоритмы и методики позволяют выполнять многодисциплинарное проектирование и создание СГЭ ЛА.

3. Разработаны и рекомендованы к внедрению в промышленность оригинальные конструктивные схемы устройств ЭМПЭ с ВПМ, которые позволили значительно повысить КПД и уменьшить массу СГЭ, топливной системы ЛА при увеличении их ресурса и надежности.

4. Экспериментальная верификация предложенных подходов при разработке СГЭ ЛА подтвердила возможность их практического использования для создания перспективных СГЭ, что подтверждается актами внедрения результатов на предприятиях, в научных организациях и ВУЗе: АО «УАПО» (Уфа), АО «ОКБ Кристалл» (Москва), АО «УНПП «Молния» (Уфа), ФГУП «ЦИАМ» (Москва), ООО «АльфаГидро» (Санкт-Петербург), ООО «Эрга» (Калуга), АО «УППО» (Уфа), ФГБОУ ВО «УГАТУ» и др.

Так на основе полученных в работе научно-технических результатов созданы:

– система генерирования электроэнергии ЛА, состоящая из электротехнического комплекса генератора МЭГ-100Ч и РН УФЦМ-150;

– СГЭ, состоящая из генератора ГМЭТСЧ и РН. Мощность генератора 150 кВт, частота вращения 24 000 об/мин, охлаждение жидкостное, напряжение стабилизируется методами подмагничивания спинки статора.

– СГЭ, состоящая из высокооборотного стартер-генератора с магнитопроводом из аморфного железа и его системы управления. Мощность стартер-генератора 120 кВт, частота вращения ротора 50 000 об/мин, КПД – более 98%. Объект применения – перспективная безредукторная ВСУ для перспективных ЛА, в том числе ЛА с коротким жизненным циклом;

– СГЭ, состоящая из высокооборотного стартер-генератора мощностью 20 кВт с частотой вращения ротора 12 000 об/мин и ТВУ, мощностью 10 кВт;

– электротехнические комплексы на основе энергоэффективных электродвигателей с ПМ и их системой управления для топливных насосов типа ЭЦН-91, используемых в системе охлаждения элементов СГЭ, в интересах АО «АО «УАПО» (Уфа);

– электротехнические комплексы на основе энергоэффективных электродвигателей с ПМ и их системой управления для топливных насосов ЭЦН-73;

– техническое задание на электрогенератор для межрегионального самолета с гибридной силовой установкой. Создан и испытан опытный генератор для межрегионального ЛА с гибридной силовой установкой и его система управления (неуправляемый выпрямитель), частота вращения ротора 12 000 об/мин, мощность 400 кВт;

– стенд на АО «УНПП «Молния» для испытания системы генерирования электроэнергии на основе ЭМПЭ с ВПМ мощностью 15 кВт с частотой вращения 10 400 об/мин для самолета ТУ 204/214.

– высокоскоростной генератор с ПМ переменной частоты вращения, унифицированный с генератором наземной газотурбинной установки;

– магнитоэлектрический генератор ВМГ. Мощность генератора 100 кВт, частота вращения ротора 60 000 об/мин, охлаждение жидкостное, объект применения – перспективная безредукторная ВСУ для перспективных ЛА, в том числе ЛА с коротким жизненным циклом;

5. Исследованы методы стабилизации напряжения ЭМПЭ с ВПМ и доказано, что применение предложенных способов управляемого подмагничивания участков магнитопровода позволяет повысить диапазон регулирование напряжения до 50 %.

6. Разработанная технология изготовления магнитопроводов статора из аморфного железа позволила создать высокооборотную электрическую машину мощностью 120 кВт с частотой вращения ротора 60 000 об/мин, удельной массой 0,23 кг/кВт и воздушным охлаждением.

7. С использованием предложенных математических моделей разработаны новые, защищенные патентами РФ, способы определения и управления положением ротора в бесконтактных подшипниковых опорах, которые позволяют

повысить точность и быстродействие систем управления положением ротора в бесконтактных подшипниковых опорах при минимизации стоимости.

8. Разработаны экспериментальные стенды и методики экспериментальных исследований, которые могут использоваться для определения характеристик и параметров ЭМПЭ с ВПМ при приемочных и типовых испытаниях.

Полученные результаты работы вносят существенный вклад в развитие теории электротехнических комплексов и систем, в частности в создание СГЭ ЛА нового поколения. Практическая значимость результатов работы заключается в разработке новых СГЭ для летательных аппаратов.

Таким образом, задачи диссертации решены, цель диссертации достигнута.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием строгих математических методов, компьютерным моделированием, подтверждаемых результатами экспериментальных исследований. Достоверность подтверждена практикой использования предлагаемых решений при расчете и конструировании, создании, проведении специальных испытаний и внедрении разработанных электромеханических преобразователей энергии на предприятиях, в научных организациях и ВУЗе. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях, определяющих общемировые тенденции развития отрасли: ICEM 2018 (Греция, 2018), XVII Международная конференция «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» (Крым, 2018), SPEDAM (Италия, 2018), IWED, 2018, 2019 (Москва), ICEPDS 2018 (Новочеркасск), IECON, 2016 (Италия), 2017 (Китай), Is the 42, 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IES); World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS (Ташкент, 2014), The 38th PIERS (Санкт-Петербург, 2016), XV международная научно-техническая конференция «Перспективы развития электроэнергетики и высоковольтного электротехнического оборудования. Энергоэффективность и энергосбережение» (Москва, 2012) и др.

Оценка содержания и оформления диссертации. Диссертация написана ясно, использованная терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам. Структура диссертации традиционная, имеет внутреннее единство, по каждой главе и диссертации в целом сделаны выводы, которые отражают результаты работы. При использовании в тексте диссертации результатов других авторов сделаны соответствующие ссылки.

Во введении показана актуальность работы, научная новизна, практическая ценность, сформулирована научная проблема и цель исследования.

В первой главе на основе цитируемой литературы и собственных исследований автора, проведен обзор современного состояния в области исследований СГЭ ЛА. Сформулированы требования к системам электроснабжения СГЭ ЛА, разработана классификация высокооборотных электромеханических преобразователей энергии и рассмотрены области их

применения, выявлены конструктивные схемы, которые наиболее полно отвечают задачам создания перспективных СГЭ ЛА. Из анализа публикаций отечественных и зарубежных авторов выделены направления исследований и развития ЭМПЭ с ВПМ и СГЭ на их основе. Сделан вывод, что для развития теории СГЭ ЛА, с учетом требований современных и перспективных ЛА, необходимо создание обобщенной структурной модели СГЭ ЛА на основе ЭМПЭ с ВПМ, отличающейся от известных тем, что позволяет исследовать СГЭ, интегрированные в силовую установку, при условии многовариантности построения СГЭ ЛА. Становится возможным одновременное исследование нескольких структур СГЭ ЛА и выбор оптимальной структуры при минимальных временных затратах.

Во второй главе разработаны структурные модели для магистрального и вспомогательных СГЭ ЛА. Разработана обобщенная многодисциплинарная структурная модель ЭМПЭ с ВПМ, описывающая процессы в ЭМПЭ с ВПМ как основного элемента СГЭ ЛА в установившихся и переходных режимах, учитывающая взаимное влияние тепловых, механических и электромагнитных процессов. Представлены результаты многокритериальной совместной оптимизации характеристик и конструктивных размеров компонентов, входящих в СГЭ ЛА по заданным критериям и методика, позволяющая выполнять процесс многодисциплинарного проектирования СГЭ ЛА на основе ЭМПЭ с ВПМ, что обеспечивает одновременное связанное проектирование всех компонентов СГЭ ЛА. Также во второй главе описана обобщенная математическая модель ЭМПЭ с ВПМ, как основного энерговырабатывающего элемента СГЭ ЛА. Обобщённая математическая модель получена с учетом тепловых, электромагнитных процессов и требований механической прочности.

Третья глава посвящена исследованиям разработанной математической модели ЭМПЭ с ВПМ. Рассматривались решения в декартовой и в цилиндрической системах координат. Произведены численные исследования разработанной математической модели. Для проверки адекватности разработанной математической модели, эффективности предложенных методов комплексного анализа физических полей, проведено компьютерное моделирование трехмерного магнитного поля в воздушном зазоре ЭМПЭ с ВПМ методом конечных элементов с учетом тепловых и механических процессов. Результаты компьютерного моделирования подтвердили адекватность разработанной математической модели, выявленные взаимозависимости между электромагнитными, тепловыми и механическими процессами. Представлены результаты исследований влияния эксцентриситета ротора на процессы в ЭМПЭ с ВПМ, произведена оценка влияния температуры на внешнюю характеристику ЭМПЭ с ВПМ в частности и на СГЭ ЛА в целом.

В четвертой главе выполнены исследованиям режимов работы ЭМПЭ с ВПМ совместно с регулятором напряжения в составе СГЭ и оценке эффективности разных способов стабилизации напряжения ЭМПЭ с ВПМ в

составе СГЭ ЛА. Разработана методика исследования магнитных полей в программном комплексе Ansys, обеспечивающая минимизацию временных затрат при компьютерном моделировании ЭМПЭ с ВПМ. На основе исследований разработан и апробирован новый метод параметрического управления и стабилизации напряжения ЭМПЭ с ВПМ (патент №2637767 «Способ стабилизации выходного напряжения магнитоэлектрического генератора»). Для оценки эффективности предложенного способа проведены экспериментальные исследования на разработанном магнитоэлектрическом генераторе МЭГ-100Ч для СГЭ ЛА.

Пятая глава посвящена исследованию и разработке способов защиты ЭМПЭ с ВПМ от витковых коротких замыканий. Предложен новый метод защиты ЭМПЭ с ВПМ от витковых коротких замыканий (патент № 2691735) и проведены его аналитические, компьютерные и экспериментальные исследования. Разработана методика компьютерного моделирования процессов при разных видах коротких замыканий, в том числе витковых, в ЭМПЭ с ВПМ, проведены исследования типов коротких замыканий, выявлены их диагностические критерии.

Шестая глава посвящена исследованию потерь в агрегатах СГЭ, на основе результатов которых разработан алгоритм проектирования ЭМПЭ с ВПМ с магнитопроводом статора из аморфного железа, заключающийся в учете нелинейных магнитных и температурных свойств аморфного железа, особенностей изготовления магнитопроводов ЭМПЭ с ВПМ из аморфного железа, а также особенностей заполнения магнитопровода сталью. Получены функции аппроксимации зависимости удельных потерь в магнитопроводе статора от частоты при частотах более 400 Гц. С использованием предложенных методов разработан и изготовлен экспериментальный образец ЭМПЭ с ВПМ мощностью 120 кВт с магнитопроводом из аморфного железа. Использование аморфного железа позволяет снизить потери в магнитопроводе статора на гистерезис и вихревые токи в 3-4 раза. Приведено обобщение результатов исследований и сформирована методология создания систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов с магнитоэлектрическими преобразователями энергии, которая представляет собой набор методик, обобщенных матриц и обобщенных математических моделей, разработанных в предыдущих главах.

Седьмая глава посвящена внедрению в промышленность ЭМПЭ с ВПМ и СГЭ на их основе. Представлены результаты экспериментальных исследований серийных и экспериментальных ЭМПЭ с ВПМ, агрегатов СГЭ ЛА. Приведены результаты исследования полной модели СГЭ, содержащей ЭМПЭ с ВПМ, трансформаторно-выпрямительное устройство и нагрузочные модули. В результате экспериментальных исследований выполнена верификация разработанных теоретических методов и методологии проектирования на серийных и экспериментальных ЭМПЭ с ВПМ и СГЭ на их основе.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат в компактном виде отражает содержание и основные положения диссертации.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в изданиях, количеством значительно превышающих требования ВАК, предъявляемых к докторским диссертациям, в том числе: монографиях; научных статьях в журналах из перечня ВАК; статьях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science; патентах и свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертации.

1. Утверждение автора, что для минимизация времени проектирования СГЭ ЛА подходы должны быть аналитическими, а не численными (стр. 9), не является доказанным.
2. Не ясно чем отличается предлагаемая автором структурная матрица (2.1) от матрицы (1.1) из ранее цитируемой статьи.
3. При анализе магнитного поля ЭМПЭ с ВПМ в цилиндрических координатах не оценена погрешность представления обмотки в виде тонкого медного слоя.
4. Не обоснован выбор обобщенного критерия оптимизации напряжения СГЭ в виде произведения теплового фактора на массу (стр. 105).
5. Так как стоимость постоянных магнитов (ПМ) высока, то желателен выбор таких их размеров, которые обеспечивают рабочую точку на характеристике размагничивания ПМ с максимальной удельной энергией. Произвольное изменение размеров магнита, в частности высоты, что предложено на стр. 115, не обеспечивает оптимальность использования ПМ.
6. Аналитические выражения для оценки потерь в постоянных магнитах учитывают только потери от временных гармоник магнитного поля, оценка потерь на вихревые токи от пространственных гармоник выполнена только методами компьютерного моделирования.
7. При моделировании ЭМПЭ не отражен учет изменения активных сопротивлений и индуктивностей обмоток при повышенных частотах напряжения.
8. При использовании предложенного метода защиты от фазных коротких замыканий, основанном на коммутации дополнительной обмотки в качестве дополнительной индуктивности в момент короткого замыкания, не оценено время срабатывания данного способа защиты.
9. Повышение мощности и числа компонентов СГЭ приводит к повышению плотности размещения компонентов СГЭ в ЛА. Необходима оценка их электромагнитной совместимости, что выполнено не было.
10. Несмотря на хорошее оформление диссертации и автореферата встречаются неточности и погрешности, например: стр. 3 - последний подпараграф без номера; стр. 8 - СГЭ – система генерирования электроэнергии, а на стр. 301

- СГЭ – канал генерирования электроэнергии; стр. 45 - «…интенсивность отказов … $40*10^6$ 1/ч, ГТ120НЖЧ12К … $60*10^6$ 1/ч» - ошибка в показателе степени, должно быть 10^{-6}; стр. 122, Табл. 2.8 - индуктивные сопротивления X измеряются не в [Гн], а в [Ом]; рис.5.17 и 5.20 плохо читаемы; выражения на стр. 244 и 224 одинаковые; в таблице 5.3 даны обозначения единиц измерения на английском языке; и др.

Заключение

Указанные недостатки имеют частный характер и не снижают научной ценности представленной диссертации в целом.

Диссертационная работа Вавилова Вячеслава Евгеньевича является законченной научно-квалификационной работой, которая по содержанию, объекту и направлению исследований, полученным новым научно обоснованным результатам соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Работа выполнена лично, на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость, содержит решение крупной научной проблемы и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, п.9 («Положение о присуждении ученых степеней»), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Вавилов Вячеслав Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электромеханика»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина».
(Докторская диссертация защищена по специальности 05.09.01 – Электромеханика.
Адрес: 153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34,
телефон (4932) 26-97-06, адрес электронной почты elmash@em.ispu.ru)

Казаков Юрий Борисович

Подпись Ю.Б. Казакова заверяю
Ученый секретарь Ученого совета ИГЭУ
«02» марта 2020 г.

Ширяева Ольга Алексеевна