

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по инновационной  
деятельности ФГБОУ ВО  
«Уфимский университет науки и



технологий»  
канд. тех. наук, доцент

Г.К. Агеев

2024 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

**Диссертация** «Разработка модульного безредукторного электропривода для воздушного винта электрического самолета» выполнена на кафедре электромеханики Передовой инженерной школы «Моторы будущего» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**В период подготовки диссертации соискатель** Барабанов Кирилл Андреевич работал в Передовой инженерной школе «Моторы будущего» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» в должности ассистента.

**В 2016г. окончил** бакалавриат ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

**В 2018г. окончил** магистратуру ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», а в 2022г. очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника», по специальности 05.09.03. «Электротехнические комплексы и системы».

**Справка об обучении** со сведениями о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2024г. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор кафедры электромеханики Передовой инженерной школы «Моторы будущего» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

### **По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

**1.** Диссертация Барабанова Кирилла Андреевича является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции Постановления Правительства РФ от 25.01.2024 г. № 62), в которой содержатся научно обоснованные решения и разработки в области авиационного электропривода для воздушных винтов самолета, позволяющие повысить эффективность летательного аппарата за счет снижения лобового сопротивления силовой установки и также обеспечить отказоустойчивость электропривода за счет модульной конструкции. Решения и разработки, полученные в рамках диссертационной работы, имеют существенное значение для дальнейшего развития науки и техники в области авиационного электропривода воздушных винтов самолетов.

### **2. В опубликованных работах соискателем получены результаты:**

В работах выполненных при участии соискателя, соискателю принадлежит: в [1,2,10,13] – предложена структура модульного электропривода и способ управления; в [1,2,13] – разработана математическая модель, описывающая формы фазных токов при предложенном способе управления; в [1, 2] – разработана имитационная модель для разрабатываемого модульного электропривода вместе с учетом предложенного способа управления; в [5-9, 10] – выполнен анализ отказоустойчивости электрических машин с постоянными магнитами, а также анализ последствий отказов; в [3,4,11,12,14] – анализ и разработка систем управления, направленные на повышение их технических характеристик.

**3. Достоверность полученных результатов и выводов основана на использовании математических методов, методов компьютерного моделирования, а также проведением экспериментальной верификации на макетном образце.**

### **4. Научная новизна работы заключается в следующем:**

**1.** Предложена конструкция модульного безредукторного электропривода. Преимущество предложенной конструкции модульного привода заключается в уменьшении внешнего диаметра по сравнению с традиционными тихоходными электроприводами за счет увеличения числа модулей и суммарной длины привода. При этом привод способен выдавать высокий момент при относительно низкой частоте вращения без использования механического редуктора.

**2.** Впервые предложен способ управления модульным безредукторным электроприводом, основанном на гармоническом изменении момента каждого модуля, при постоянном суммарном моменте на валу.



3 Разработана математическая модель, описывающая формы фазных токов при изменении момента по модифицированному гармоническому закону, выраженному функцией квадрата косинуса

4. Разработана имитационная модель позволяющая анализировать режимы работы и характеристики модульного электропривода с учетом вентиляторной нагрузки.

#### **5. Практическая значимость заключается в следующем:**

1. Конструкция модульного электропривода, реализующая привод воздушного винта без использования редуктора с уменьшенным внешним диаметром.

2. Способ управления позволяющий реализовать предложенную конструкцию модульного электропривода

3. Компьютерная имитационная модель модульного электропривода, позволяющая исследовать поведение электропривода в различных режимах и условиях.

4. Макетный образец модульного электропривода и программное обеспечение (ПО), реализующее предложенный способ управления модульным электроприводом.

5. Практическая ценность результатов работы подтверждается актом внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс ПИШ «Моторы будущего» УУНиТ и в производственный процесс ООО «ЭТК».

#### **6. Ценность научных работ заключается в том, что:**

Результаты разработок и проведенных исследований решают научные и практические задачи в части совершенствования технических характеристик электроприводов воздушного винта летательных аппаратов, в частности обеспечивают отказоустойчивость силовой установки.

#### **7. Обоснование выбранной специальности и отрасли науки диссертации**

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы, при этом работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

п. 1. «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования.»;

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

п.4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных

режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов.»

**Отрасль науки** – технические науки, поскольку приведенные результаты исследований дают существенный технический эффект при использовании и внедрении.

#### **8. Полнота изложения материалов диссертации**

Основные результаты диссертации опубликованы 15 работах, среди которых 2 в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, либо в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI, 2 статьи в изданиях, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, 11 статей в других изданиях. Получен 1 патент на изобретение.

#### ***Статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, либо научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI:***

1. Барабанов, К.А. Разработка и моделирование модульного высокомоментного безредукторного электропривода для авиационного применения / К.А. Барабанов, Д.Р. Фаррахов, И.Х. Хайруллин, И.И. Уразбахтин // Электротехника. – 2022. – № 12. – С. 34-37.

2. Ямалов, И.И. Совместное проектирование авиационного синхронного генератора с постоянными магнитами и стабилизатором напряжения / И.И. Ямалов, К.А. Барабанов, И.А. Аюпов, Г.С. Зиннатуллина // Электротехника. – 2022. – № 12. – С. 14-18.

#### ***Публикации в отечественных журналах из перечня изданий ВАК, включенных в международные базы Web of Science, Scopus:***

3. Barabanov, K.A. Development and Simulation of a Modular High-Torque Gearless Electric Drive for Aviation Purposes / K.A. Barabanov, D.R. Farrakhov, I.Kh. Khayrullin, I.I. Urazbakhtin // Russian Electrical Engineering. – 2022. – Vol. 93, No. 12. – P. 776-779.

4. Yamalov, I.I. A Joint Design of an Aviation Synchronous Generator with Permanent Magnets and a Voltage Stabilizer / I.I. Yamalov, K.A. Barabanov, I.A. Ayupov, G.S. Zinnatullina // Russian Electrical Engineering. – 2022. – Vol. 93, No. 12. – P. 753-757.

#### ***Статьи в других изданиях:***

5. Эффективность применения в синхронных машинах с постоянными магнитами внешнего ротора / О. А. Юшкова, А. А. Меднов, К. А. Барабанов [и др.] // Электротехнические комплексы и системы: Международная научно-практическая конференция, Уфа, 27–30 октября 2020 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 176–181.

6. Исследование эффективности жидкостного охлаждения для электрических машин с внешним ротором методом компьютерного



моделирования / Е. О. Жарков, А. М. Веселов, О. А. Юшкова [и др.] // Электротехнические комплексы и системы: Международная научно-практическая конференция, Уфа, 27–30 октября 2020 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 192–197.

7. К вопросу о неблагоприятных внешних воздействиях, имеющих место при функционировании авиационных электрических машин / Ф. Р. Исмагилов, И. И. Ямалов, Р. Р. Уразбахтин [и др.] // Электротехнические комплексы и системы: Международная научно-практическая конференция, Уфа, 27–30 октября 2020 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 204–210.

8. Комплексная диагностика и мониторинг состояния современных электрических машин / Ф. Р. Исмагилов, Р. Р. Уразбахтин, И. И. Ямалов [и др.] // Электротехнические комплексы и системы: Международная научно-практическая конференция, Уфа, 27–30 октября 2020 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021.

9. Вентильный электродвигатель для летательных аппаратов вертолетного и самолетного типа / Р. Д. Каримов, И. И. Ямалов, К. А. Барабанов [и др.] // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей по итогам двенадцатой международной научной конференции, Казань, 30–31 декабря 2020 года. Том Часть 1. – Казань: ООО «Конверт», 2020. – С. 116–118.

#### *Иные публикации:*

10. Ismagilov, F.R. Development of an AC / DC Converter for Powering a Load of 540 v DC / F.R. Ismagilov, V.E. Vavilov, D.V. Gusakov, K.A. Barabanov, I.R. Garipov // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics : 15th International IEEE Scientific and Technical Conference, Omsk, 09–11 ноября 2021 года. – IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. – DOI 10.1109/Dynamics52735.2021.9653717.

11. Ismagilov, F.R. The six-phase fault tolerant synchronous generator with permanent magnets for aircraft application / F.R. Ismagilov, V.E. Vavilov, R.D. Karimov, K.A. Barabanov // Proceedings - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, Sochi, 18–22 мая 2020 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 9112055. – DOI 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112055.

12. Farrakhov, D.R Quasi-resonant buck converter for high power application / D.R. Farrakhov, K.A. Barabanov, A.A. Podguzov [et al.] // Proceedings - ICOECS 2020: 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, Ufa, 27–30 октября 2020 года. – Ufa, 2020. – P. 9278426. – DOI 10.1109/ICOECS50468.2020.9278426.

13. Farrakhov, D.R Design features of a starter-generator control system / D.R. Farrakhov, I.I. Yamalov, K.A. Barabanov, A.A. Podguzov // Proceedings - ICOECS 2020: 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems,



Ufa, 27–30 октября 2020 года. – Ufa, 2020. – P. 9278441. – DOI 10.1109/ICOECS50468.2020.9278441.

14. Farrakhov, D.R. Novel modular design of gearless electric drive for propeller of an all-electric aircraft / D.R. Farrakhov, K.A. Barabanov // Proceedings - ICOECS 2020: 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, Ufa, 27–30 октября 2020 года. – Ufa, 2020. – P. 9278467. – DOI 10.1109/ICOECS50468.2020.9278467.

#### **Патенты РФ:**

15. Патент № 2731017 С1 Российская Федерация, МПК H02K 16/00, H02K 11/30. Модульная машина для безредукторного высокомоментного привода: № 2019110871: заявл. 11.04.2019: опубл. 28.08.2020 / Ф. Р. Исмагилов, И. Х. Хайруллин, В. Е. Вавилов, К. А. Барабанов [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный авиационный технический университет".

**Диссертация** Барабанова Кирилла Андреевича соответствует п. 14 Положения о присуждении ученых степеней:

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

Диссертация «Разработка модульного безредукторного электропривода для воздушного винта электрического самолета» Барабанова Кирилла Андреевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

**Заключение принято на заседании** кафедры электромеханики ПИШ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Присутствовало на заседании** 34 человек, из них докторов наук 6 человек.

**Результаты голосования:** «за» – 34 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек.

Протокол № 10 от «13» мая 2024 г.

Заведующий кафедрой  
Электромеханики ПИШ  
д.т.н., доцент

Ученый секретарь  
Ученого совета университета

В.Е. Вавилов

И.В. Ефименко