

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
проблем управления имени В. А. Трапезникова
Российской академии наук (ИПУ РАН)



_____ чл.-корр. РАН Д. А. Новиков

«24» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ИПУ РАН на диссертационную работу Кутейниковой Екатерины Николаевны «Исследование трехрежимного газодинамического привода ЛА с диаметральной лопастной машиной и управляющим электродвигателем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин»

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Тема диссертационной работы Кутейниковой Екатерины Николаевны, безусловно, является актуальной. Основным объектом диссертационного исследования являются летательные аппараты (ЛА), в том числе, беспилотные (БпЛА) с продолжительным временем полета. Такие БпЛА должны совершать автономный полет в широком диапазоне скоростей на большие расстояния без внешнего восстановления объема (емкости) источника энергии, а также быть маневренными, скрытными и точно воспроизводить заданный закон управления. Высокие требования к эксплуатационным характеристикам БпЛА вызывают необходимость выполнения комплексных научных исследований с целью создания новой теоретической базы для совершенствования ключевых структурных элементов их конструкции, таких как рулевые приводы и энергетические установки. Соискателем сделан правильный вывод, что одним из возможных направлений повышения эффективности приводов БпЛА является увеличение коэффициента использования энергии набегающего потока; на этом выводе базируются научные исследования в рамках представленной работы. При постановке задачи исследований и сегментации

Отдел документационного
обеспечения МАИ

07.12.20

1

области поиска научно-технических решений в работе проанализированы приводы с различными классификационными характеристиками типа используемой энергии набегающего потока: потенциальной и кинетической. В результате анализа установлено, что область исследования приводов, использующих потенциальную энергию, содержит ряд эффективных решений, таких как, например, воздушно-динамический рулевой привод АО «КБП им. А.Г. Шипунова». Однако приводы этого типа вызывают увеличение лобового сопротивления, что требует больших затрат энергии и, поэтому в настоящее время, ограничивает их использование в БпЛА с продолжительным временем полета.

Применение кинетической энергии набегающего потока связано с задействованием специальных исполнительных механизмов (ИМ), позволяющих ускорить поток и снизить потери на давление торможения. В этой связи в качестве основного предмета диссертационного исследования и апробации его результатов выбраны приводы БпЛА, основанные на использовании кинетической энергии набегающего потока. В ходе анализа российских и зарубежных публикаций соискателем рассмотрен широкий ряд технических решений по реализации приводов БпЛА, которые указывают на перспективность применения в качестве ИМ диаметральных лопастных машин (ДЛМ). К достоинствам приводов с ДЛМ можно отнести обеспечение высокой маневренности БпЛА на малых скоростях, относительно низкий уровень шума, многофункциональность и возможность интеграции в БпЛА различного конструктивного исполнения. Однако недостаточная изученность аэродинамических характеристик ДЛМ для возможных применений в составе БпЛА, низкий энергетический КПД и отсутствие эффективных методик их проектирования, основанных на адекватных расчетных моделях и обеспечивающих возможность применения современных средств компьютерного моделирования, вызывают необходимость проведения дальнейших исследований по созданию и совершенствованию теории и практики построения приводов с ДЛМ.

2. СВЯЗ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ПЛАНАМИ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОТРАСЛЕЙ НАУКИ И НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Тема диссертационного исследования соответствует Государственной программе Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» на 2018-2025 годы в части:

– фундаментальных научных исследований в интересах долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства;

– научного, технологического и инновационного развития по широкому спектру направлений по инициативе исследовательского, инженерного и предпринимательского сообщества;

– исследований, разработки и инноваций в целях реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, включая комплексные научно-технические программы и проекты.

Полученные результаты, основные научные положения и выводы диссертационного исследования согласуются с Государственными программами «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» и «Развитие оборонно-промышленного комплекса» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, а также вносят вклад в реализацию следующих критических технологий Российской Федерации:

– базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;

– технологии информационных, управляющих, навигационных систем;

– технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения.

3. НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Предложена методика проектирования трёхрежимных газодинамических приводов с диаметральной лопастной машиной на основе конечно-элементного анализа и математического моделирования, позволяющая разрабатывать приводы с оптимальной компоновкой под заданные требования и с возможностью генерирования дополнительной энергии во время полёта.

2. Разработана математическая модель привода, позволяющая исследовать его статические и динамические характеристики во всех трех режимах работы.

3. Сформирован алгоритм переключения между режимами работы диаметральной лопастной машины в зависимости от условий полёта.

4. Даны рекомендации к проектированию диаметральной лопастной машины, которые позволяют обеспечить наибольшие значения тяги вследствие уменьшения нестационарности потока внутри воздухопровода.

4. ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов диссертационной работы подтверждаются корректностью постановок задач, применением фундаментальных законов механики и электротехники,

уравнений газовой динамики, методов наименьших квадратов и Рунге-Кутты (4-го и 5-го порядков) и других математически обоснованных формул и теорем. Компьютерное моделирование аэродинамических характеристик ДЛМ выполнено на основе современных САПР, эффективность которых подтверждена мировой практикой. Полученные результаты численного моделирования согласуются с экспериментальными данными из отечественной и зарубежной литературы.

Соискателем выполнена достаточно серьезная апробация результатов диссертационной работы. В течение нескольких лет (с 2016 г.) основные положения работы докладывались и обсуждались на следующих российских и международных научно-практических конференциях: «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации»; «Гагаринские чтения»; «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред»; «Авиация и космонавтика»; «Мехатронные системы (теория и проектирование)».

Достоверность и обоснованность результатов диссертации также подтверждены актами о внедрении: в учебно-методическое обеспечение дисциплин «Спецтехнология» и «Основы проектирования робототехнических систем», курсового и дипломного проектирования на кафедре 702 «Системы приводов авиационно-космической техники» Московского авиационного института (национального исследовательского университета); в научно-исследовательскую деятельность Акционерного общества «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова».

5. ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

1) Разработанные модели, алгоритмы и методика проектирования обеспечивают возможность создания трехрежимных и, в перспективе, многофункциональных (мультирежимных) энергоэффективных газодинамических приводов с диаметральной лопастной машиной и управляющим электродвигателем (ЭД);

2) Предложенная и запатентованная новая конструкция газодинамического привода с электродвигательным управлением имеет практическое значение при создании БПЛА нового поколения.

3) Разработанный способ коррекции на основе модели третьего порядка, полученной с помощью нелинейной регрессии, позволяет повысить точность моделирования характеристик воздушного потока в ДЛМ с рабочим колесом и воздухопроводом нетипичных конструкций, что наиболее важно при разработке газодинамических приводов (ГДП) специального назначения.

6. ХАРАКТЕРИСТИКА ЯЗЫКА И СТИЛЯ ДИССЕРТАЦИИ. СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

Текст диссертации имеет грамотное изложение и хороший научно-технический стиль. Предложения сформулированы четко, понятно и однозначно отражают заложенный в них смысл. Текст подкреплен необходимым и содержательным иллюстративным материалом, формулами и таблицами, что способствует улучшению восприятия текста и повышению читательского интереса к работе.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 103 страницы машинописного текста. Диссертация содержит 57 рисунков и 2 таблицы. Список литературы состоит из 38 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, определена решаемая научно-техническая проблема. В этой связи, на основе проведенного патентного поиска и анализа литературы, показаны и проанализированы особенности существующих конструктивных схем ИМ приводов с использованием ДЛМ и управляющим ЭД, приведены их основные области применения, основные достоинства и недостатки. Сформированы цели и задачи исследования. Показана практическая значимость и научная новизна диссертационной работы.

В главе 1 проведен анализ основных принципов построения ДЛМ и их компоновок в составе ЛА, на основе которого выбрана базовая схема ДЛМ для дальнейшего исследования. Для базовой схемы проведен анализ физических процессов в воздухопроводе, в результате которого определены возможные картины течения потока и особенности возникновения вихрей, оказывающих негативное влияние на энергетические характеристики ГДП. В этой связи предложен способ управления БПЛА на основе изменения вектора тяги за счет регулирования скорости вращения ЭД ДЛМ, который обеспечивает возможность повышения эффективности использования энергии набегающего потока (получен патент РФ №2634609). Проанализированы функционально-геометрические характеристики базовой схемы (конструкции) ДЛМ, в частности, установлена зависимость величины тяги от основных конструктивных параметров рабочего колеса (РК) и воздухозаборника. При помощи вычислительного эксперимента, основанного на специально разработанной расчетной модели с адекватностью по максимальному значению относительных отклонений откликов модели от откликов эталона 20 %, подтверждена возможность работы исследуемого ГДП в режиме электрогенератора. Разработаны рекомендации по проектированию РК и воздухопровода для трехрежимных ГДП.

В главе 2 для исследуемого ГДП разработано аналитическое описание

основных физических процессов в системе «РК-воздухопровод». На основе рекомендаций, сформулированных в главе 1, разработана математическая модель для исследования статических и динамических характеристик трехрежимного ГДП в зависимости от величины скоростного напора; оценка адекватности модели в компрессорном режиме по максимальному относительному отклонению составляет 20 %. Сравнительный анализ математической модели с алгоритмической моделью, разработанной в главе 1, показал максимальное расхождение между полученными значениями 20%, на основании чего сделан вывод о применимости разработанных моделей для проектирования ГДП с ДЛМ. С целью повышения точности вычислений предложен способ коррекции на основе регрессионной модели третьего порядка, учитывающий физические процессы в ДЛМ с РК и воздухопроводом нетипичных конструкций. Разработан алгоритм автоматического управления режимами работы ГДП, который обеспечивает возможность подзарядки источника питания во время полета ЛА и, таким образом, увеличения продолжительности его непрерывного бессервисного полета.

В главе 3 на основе разработанных расчетных моделей вычислены и исследованы статические и динамические характеристики ГДП в диапазоне изменения скорости набегающего потока от 0 до 300 м/с при различных высотах полета. При этом расчетная полоса пропускания равна 3,5 Гц, время переходного процесса – 0,15 с, что позволяет рекомендовать исследуемый ГДП для использования в БпЛА. На основе анализа расчетных характеристик также сделан вывод, что за счет увеличения скорости вращения РК при неизменной скорости набегающего потока величина тяги ГДП может быть увеличена до 33 %. Разработано схемное решение ГДП с ДЛМ, одной из отличительных особенностей которого является блок автоматического управления переключением между тремя заданными режимами (компрессорным, смешанным и генераторным), что значительно повышает энергетический КПД привода.

В главе 4 созданы инструментальные средства для разработки трехрежимного ГДП ЛА с ДЛМ и управляющим ЭД: 1) разработан алгоритм проектирования диаметральной лопастной машины на основе анализа требуемой тяги и выделенного объема, определения параметров РК и воздухопровода, учета потребляемой мощности ЭД; алгоритм обеспечивает возможность автоматизации расчета вырабатываемой тяги ГДП; 2) для обеспечения возможности выбора ЭД на основе расчетных данных, получено аналитическое выражение для определения момента нагрузки на валу РК с учетом трех режимов работы и его геометрических размеров. Проанализированы подходы к расчету ГДП со специфичными

конструктивными параметрами, что расширяет область использования различных типов ДЛМ. С целью систематизации созданных инструментальных средств, результатов экспериментальных исследований, полученных выводов и рекомендаций разработана методика проектирования ГДП с исполнительным механизмом на основе ДЛМ с управляющим ЭД.

В заключении приводятся общие выводы по диссертационной работе.

7. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты по теме диссертации представлены в 20 опубликованных научных работах (3 из которых опубликованы без соавторов), в том числе: 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 17 статей в сборниках конференций; 1 патент на изобретение.

8. ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

В качестве замечаний к диссертационной работе можно отметить следующее:

– Для численного моделирования рабочих характеристик газодинамического привода соискателем используются двумерные модели. Учитывая, что некоторые конструкции РК в ДЛМ могут иметь значительное отношение длины к диаметру, расчетные двумерные модели могут оказаться не универсальными. В этом случае целесообразно сформулировать ограничения на применение двумерных моделей;

– На рисунке 1.9 представлены поперечные сечения РК с воздухопроводом, геометрии которых названы соискателем неэффективными для исследуемых режимов работы, что подтверждено результатами компьютерного моделирования, согласующимися с экспериментальными данными из открытых источников. Тем не менее, представляет определенный интерес исследование вышеуказанных геометрий ДЛМ при различных параметрах рабочей среды.

– При изложении разработанной методики проектирования ГДП целесообразно уточнить, что удовлетворительные результаты расчета являются основанием для выпуска рабочей конструкторской документации на опытный образец, поскольку, например, эскизная проработка конструкции (КД с литерой «Э») может быть выполнена до завершения всех необходимых расчетов.

– В выводах к главе 4 более точно следовало бы указать не «рассмотрены...», а «предложены подходы к расчету ГДП со специфичными конструктивными параметрами, что расширяет область использования различных типов лопастных машин».

Указанные замечания не снижают ценности диссертации для науки и техники. Несмотря на замечания, диссертация производит положительное впечатление и вносит значимый вклад в решение научной проблемы развития теории и практики создания приводов перспективных БпЛА.

9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Результаты диссертации могут быть использованы на предприятиях авиационной и ракетно-космической промышленности, предприятиях военно-промышленного комплекса при разработке и совершенствовании конструкций приводов ЛА, а также в учебном процессе при освоении студентами профильных дисциплин и аспирантами при проведении научных исследований в области робототехнических систем, авиастроения и ракетостроения.

Научные исследования по теме диссертации имеют перспективы продолжения и развития научными коллективами, работающими над созданием новых эффективных принципов построения ЛА, совершенствованием их эксплуатационных характеристик, созданием систем автоматического управления ЛА нового поколения и для реализации новых технологий при создании перспективных видов вооружения и военной техники.

10. СООТВЕТСТВИЕ ПАСПОРТУ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Диссертация Кутейниковой Екатерины Николаевны соответствует паспорту научной специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» и охватывает следующие области исследования:

п. 1 «Теория и методы исследования процессов, влияющих на техническое состояние объектов машиностроения, способы управления этими процессами»;
п. 2 «Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин»; п. 4 «Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования»; п. 5 «Повышение точности и достоверности расчетов объектов машиностроения; разработка нормативной базы проектирования, испытания и изготовления объектов машиностроения».

11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований разработаны модели, алгоритмы расчета и методика проектирования трехрежимного газодинамического привода ЛА с диаметральной лопастной машиной и

управляющим ЭД. Диссертация обладает внутренним единством применяемых подходов к решению рассматриваемой проблемы, содержит новые научные результаты, которые достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях и отражают личный вклад автора диссертации. Научная новизна положений, которые вынесены на защиту, не вызывает сомнений. Теоретический и практический уровни работы заслуживают высокой оценки. Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационной работы. Таким образом, диссертация полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – Кутейникова Екатерина Николаевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Диссертационная работа и отзыв рассмотрены на заседании расширенного семинара лабораторий № 2 «Технических средств управления», № 27 «Технической диагностики и отказоустойчивости», № 29 Системной интеграции средств управления ИПУ РАН. Присутствовало 38 человек, протокол № 2 от 23 ноября 2020 года.

Председатель семинара

д.т.н., г.н.с. А. М. Касимов

Ученый секретарь семинара

к.т.н., с.н.с. А. В. Балабанов

Почтовый адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

Телефон: +7 495 334-89-10

E-mail: dan@ipu.ru

Сведения о составителях отзыва верны, личные подписи составителей заверяю:

Зав. отделом кадров



И. А. Гаврилова

М.П.

С отзывом ознакомлена от 04.12.2020