

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.03

**Соискатель:** Скрыбин Алексей Валерьевич

**Тема диссертации:** Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода летательного аппарата с использованием интеллектуального анализа данных

**Специальность:** 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 20 июня 2024 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Скрыбину Алексею Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников; А.И. Болкунов, Л.В. Вишнякова; В.А. Воронцов; В.Н. Евдокименков; К.А. Занин; Д.А. Козорез; М.С. Константинов; М.М. Матюшин; А.В. Ненарокомов, С.Н. Падалко; В.В. Пасынков; В.Г. Петухов; В.В. Родченко; Ю.В. Тюменцев.

Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.03, д.т.н., доцент

Начальник  
Т.А. Анишкин



А.В. Старков

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.03**

созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
(МАИ)

**по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20.06.2024 г., протокол № 5

О присуждении **Скрябину Алексею Валерьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода летательного аппарата с использованием интеллектуального анализа данных» по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки) принята к защите «18» апреля 2024, протокол № 4, диссертационным советом 24.2.327.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

**Соискатель**, Скрябин Алексей Валерьевич, «21» апреля 1988 года рождения. В 2011 г. окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) с присвоением квалификации инженера по специальности «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации». В 2020 году окончил обучение в аспирантуре федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ») по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и механика», выдавшей диплом об окончании аспирантуры 105005 0008494, регистрационный номер 38 от 18 декабря 2020 г.).

Диссертация выполнена в федеральном автономном учреждении «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ») ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» в испытательном центре «Динамика» научно-исследовательского центра безопасности полетов.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, доцент, начальник НИО-15 «Динамика и системы управления ЛА» ФАУ «ЦАГИ», Баженов Сергей Георгиевич. По совместительству заведующий кафедрой С-12 «Аэромеханика, управление и навигация ЛА» филиала «Стрела» МАИ и профессор учебного и научно-исследовательского центра по аэромеханике и летательной технике (УНИЦ АЛТ) МФТИ.

**Официальные оппоненты:**

1. Романова-Большакова Ирина Константиновна– гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры Робототехнические системы и мехатроника, заместитель декана по магистратуре факультета Специальное машиностроение МГТУ им. Н. Э. Баумана.

2. Косьянчук Владислав Викторович – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора ФАУ «ГосНИИАС».

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») в своем положительном отзыве, подготовленном, и обсужденном на заседании кафедры Систем автоматического управления ФГАО ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)» (протокол № 1/05-2024 от «15» мая 2024 г., подписанном и.о. заведующего кафедрой САУ, кандидатом технических наук, доцентом Н.А. Доброскоком, профессором кафедры САУ, доктором технических наук, доцентом В.Е. Кузнецовым, ученым секретарем кафедры САУ, кандидатом экономических наук, доцентом Т.Л. Русяевой и утвержденным проректором по научной и инновационной деятельности, доктором технических наук, доцентом А.А. Семеновым, указала, что диссертация Скрябина Алексея Валерьевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и изложены новые теоретические положения и научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития систем ранней диагностики сложных систем электромеханических рулевых приводов, что позволит обеспечивать повышение безопасности и эффективности органов управления летательного аппарата. Уровень диссертации соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ), а соискатель, Скрябин Алексей Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по

специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Соискатель имеет 29 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 15 работ, включающих 3 статьи, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, 6 работ в изданиях, индексируемых в международной реферативной базах данных SCOPUS и Web Of Science. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

**Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК:**

1. Скрыбин А.В. Системы контроля технического состояния и прогнозирования неисправностей электромеханических рулевых приводов летательного аппарата. Современный уровень развития. // Общероссийский научно-технический журнал «Полет», №2, с. 50-64, 2018 (№ 1990 в перечне ВАК по группам специальностей по состоянию на 01.01.2018 г.).

Проведен анализ технологий ранней диагностики электромеханических рулевых приводов и определены перспективные направления развития алгоритмов идентификации технического состояния.

2. Вересников Г.С., Гуцевич Д.Е., Скрыбин А.В. Разработка математической модели для исследования алгоритмов оценки и прогноза технического состояния сервопривода БЛА // Известия ЮФУ. Технические науки № 7-2019 URL: [http://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv\\_tn/issue/view/13/15](http://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/issue/view/13/15), Таганрог, 2019, С: 170-181 (9 с. авт., № 1019 в перечне ВАК по состоянию на 30.05.2019).

Личный вклад автора заключается в результатах разработки и экспериментального подтверждения математической модели сервопривода для исследования алгоритмов выявления прогрессирующих деградаций, развитие которых в ходе эксплуатации приводит к отказам.

3. Вересников Г.С., Скрыбин А.В. Методы искусственного интеллекта в системах автоматизированного управления беспилотными летательными аппаратами // «Информационные технологии», 2024, Т.30, №3, С. 115-123 (7 с. авт., №1385 в перечне ВАК от 19.12.2023 г., № 356, К1 в перечне рецензируемых научных изданий по категориям К1, К2, К3 с 01.01.2024, ID 5972).

Личный вклад автора заключается в представлении результатов исследования методов интеллектуального анализа данных, применяемых для решения проблем классификации, прогнозирования и оптимизации при функционировании систем беспилотного летательного аппарата.

**Статьи в журналах, индексируемых в иностранных библиографических и реферативных базах данных (SCOPUS, Web Of Science):**

1. Skryabin A., Veresnikov G. The development of data mining methods criteria to identify failures of aircraft control surface actuator // 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, Марсель, Франция, университет Экс-Марсель, Procedia Computer Science vol. 112, с. 1007-1014, 2017.
2. Skryabin A., Veresnikov G. The Electromechanical Actuator Technical Condition Monitoring System Based on Data Mining Methods, 2018 Eleventh International Conference Management of large-scale system development (MLSD), Москва, ИПУ РАН, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/MLSD.2018.8551829.
3. Veresnikov G., Skryabin A. Methods for Mechanical Failures Assessment to Determine the Technical State of Aircraft Control Surface Electromechanical Actuator, 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Санкт-Петербург, 2021, pp. 60-62, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507174, ЛЭТИ.
4. Bazhenov S., Skryabin A., Veresnikov G. The Development of Algorithms for EMA Fault Early Detection System // Proceedings of 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2020), Шанхай, КНР, CSAA, 2021 г.
5. Skryabin A., Veresnikov G. Feature Selection Algorithms for Forecasting Technical Condition of Electromechanical Actuator, 2021 14th International Conference Management of large-scale system development (MLSD), Москва, ИПУ РАН, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/MLSD52249.2021.9600182, Россия.
6. Veresnikov G. and Skryabin A., "Diagnostics of Mixed Type Failures in the Aircraft Electromechanical Gear by Using Neural Networks" 2022 15th International Conference Management of large-scale system development (MLSD), Москва, М.: IEEE, 2022, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9600182>, Россия.

**Результаты интеллектуальной деятельности:**

1. Потетькин В.Я., Скрыбин А.В., Халецкий Л.В. Электромеханический следящий привод // Патент на полезную модель № 147865 от 17.06.2014.
2. Арапов Г.Е., Ерофеев Е.В., Кудрявцев П.С., Скрыбин А.В., Стеблинкин А.И., Халецкий Л.В. Патент на полезную модель 191471 Нагрузочная машина для динамических испытаний рулевых приводов летательных аппаратов от 07.08.2019.
3. Берко Г.С., Ерофеев Е.В., Скрыбин А.В., Стеблинкин А.И. Программа определения частотных характеристик испытуемых рулевых приводов на стенде нагрузочных испытательных машин // Св-во о регистрации программы для ЭВМ № 2013661808 от 16.12.2013.

**В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.**

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:**

**1. СПБГЭТУ «ЛЭТИ», ведущая организация. Отзыв положительный.**

В качестве замечаний под диссертационной работе можно отметить следующие:

1. Разработанная автором программно-математическая модель электромеханического рулевого привода (ЭМРП) (стр. 53) представляет трение моделью Карнопа, которая является статической и в ряде случаев контролируемые параметры, наблюдаемые в программно-математической модели, могут расходиться с контролируемыми параметрами, протекающими в натурном ЭМРП.
2. В созданной методике классификации (стр. 89) автор оценивает эффективность разработанных алгоритмов на данных моделирования сценариев развития неисправностей при постоянной температуре и отсутствии механической нагрузки, вариативность которых, существующая в реальной системе, может оказывать существенное влияние на результат решения
3. Основное внимание в работе уделяется исследованию механических неисправностей. Тем не менее, в сочетании с ухудшением характеристик в других системах (например, при падении напряжения в цепях питания инвертора и/или электродвигателя) характер признаков неисправностей редуктора может сильно отличаться от характера при изолированном рассмотрении. Поэтому, при создании системы ранней диагностики ЭМРП следует рассмотреть неисправности смешанных типов, относящихся к разным подсистемам ЭМРП.
4. Для оценки эффективности работы разработанных алгоритмов классификации и прогнозирования целесообразно использовать сигналы моделирования работы ЭМРП при наложении на них шумовой составляющей с различными характеристиками, что позволит оценить устойчивость работы алгоритмов в различных условиях.
5. Из текста работы не понятно каким образом разработанные алгоритмы и методы могут быть интегрированы на борт летательного аппарата для их практического применения.

**2. Романова-Большакова Ирина Константиновна**, официальный оппонент, доктор технических наук, доцент. **Отзыв положительный**, заверен специалистом по персоналу отдела кадрового администрирования МГТУ им. Н.Э. Баумана, Долгопольской Ж.А.

Замечания по диссертационной работе:

1. В исследовании автор проводит моделирование деградаций путем перебора всех возможных технических состояний системы в соответствии с определенными параметрами деградаций редуктора ЭМРП и таким образом получает выборки данных, которые могут быть пересчитаны на новый размер сеток для задач, поставленных в работе. Для повышения эффективности алгоритмов ранней диагностики следует определить оптимальную сетку с переменным шагом для параметров работы ЭМРП, которая содержала бы ценную информацию о развитии деградаций и при этом была бы более компактной.
2. Для построения интеллектуального классификатора в работе автор использует 12 контролируемых параметров (диагностических сигналов - индикаторов состояния), но не упоминает о том, какие сигналы могут быть измерены в реальном приводе. Также следовало бы выполнить ранжирование значимости индикаторов.
3. В результате проведенного исследования разработаны новые методы и алгоритмы ранней диагностики, тем не менее в работе не отмечается каким образом полученные решения задач классификации и прогнозирования состояния отдельного ЭМРП будут использованы в процессе проектирования и эксплуатации летательного аппарата и общей авиатранспортной системы, включая системы управления отдельными агрегатами и систему управления в целом.
4. В диссертации присутствуют отдельные опечатки и неточности.

**3. Косьянчук Владислав Викторович**, официальный оппонент, доктор технических наук, профессор. **Отзыв положительный**, заверен начальником отдела кадров ФАУ «ГосНИИАС» Е.В. Хабировой.

По содержанию диссертационной работы можно высказать следующие замечания:

1. В диссертации не приведены результаты сравнения работы алгоритма классификации технического состояния ЭМРП, построенного на основе машинного обучения с классическими подходами, основанными на пороговых значениях.
2. В диссертации не представлен материал по исследованию влияния ошибок измерений на результат решения задачи классификации.

3. В главе 4 приводятся результаты построения тренда изменения сигнала силы тока при деградации по росту трения и тренда изменения сигнала угловой скорости при деградации по росту люфта, но не приводятся результаты построения трендов для других сигналов, соответствующих выбранным параметрам деградации редуктора.
4. При построении трендов автор выбирает критерии оптимизации, описывающие линейные зависимости, однако тренды могут являться нелинейными, что ограничивает область применения разработанных оптимизационных моделей.

**4 Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), отзыв на автореферат диссертационной работы. Отзыв положительный, подписан ведущим научным сотрудником, д.т.н. В.А. Судаковым, заверен ученым секретарем ИПМ им М.В. Келдыша РАН к.ф.-м.н. А.А. Давыдовым.**

Недостатком рецензируемой работы является то, что классификатор, построенный на результатах моделирования работы электромеханического рулевого привода не всегда может обеспечивать корректную идентификацию технического состояния реального привода поскольку математическая модель является идеализированным представлением реальной системы и не учитывает всех процессов, связанных с деградациями характеристик которые протекают в реальном приводе.

**5 ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», отзыв на автореферат диссертации. Отзыв положительный, подписан профессором кафедры цифровых технологий обработки данных, д-ром техн. наук, профессором Е.В. Никульчевым, заверен специалистом по кадрам управления кадров Чернышевой В.Г.**

Замечание по автореферату: на с. 21 упоминается множество решений  $\alpha$  и  $R^2$  на Парето-фронте, при этом не приведен вид критериев оптимальности и ограничений, по которым строится фронт Парето.

**6. ПАО «ОАК» ОКБ имени А.И. Микояна, отзыв на автореферат диссертации, отзыв положительный, подписан заместителем Главного конструктора ОКБ по системам управления, заслуженным машиностроителем РФ, д.т.н., профессором, Ю.Г. Оболенским, утвержден и.о. Начальника КБ И.А. Федотовым.**

К недостаткам автореферата относятся недостаточная обоснованность границ градаций трех выбранных автором состояний: исправного

(0,05°– 0,5° и 0,25-0,7 Нм), предаварийного (0,55°-1,0° и 0,75-1,2 Нм) и аварийного (1,05°-1,5° и 1,25-1,7 Нм), определяемых параметрами люфта и сухого трения, а также, очевидно, обусловленное малым объемом автореферата отсутствие описания применяемых в главе четвертой алгоритмов.

7. **Филиал ПАО «Яковлев» - «Региональные самолеты»**, отзыв на автореферат диссертации, **отзыв положительный**, подписан главным специалистом, к.т.н. Зыковым Б.В., заверен руководителем направления по работе с филиалами и ДЗО Сеницыным И.В., утвержден заместителем директора по разработке А.В. Долотовским.

Считаем необходимым отметить следующий недостаток, обнаруженный нами в работе: электромеханический рулевой привод является перспективным исполнительным механизмом, который только предполагается применять в системе рулевых приводов отечественных магистральных самолетов в будущем. В настоящее время для отклонения рулевых поверхностей магистральных самолетов преимущественно используются гидравлические приводы, которые в работе не рассматриваются, но которые представляют не меньший интерес для исследования разработанных автором методов и алгоритмов.

8. **КБ «Салют» им. В.М. Мясищева АО «КГНПЦ им. М.В. Хруничева»**, отзыв на автореферат диссертационной работы, **отзыв положительный**, подписан начальником научно-технического отдела, к.т.н. А.А. Белкиным, утвержден заместителем генерального директора, председателем НТС КБ «Салют», к.т.н. М.Б. Соколовым.

Принципиальных замечаний к автореферату нет. В качестве недостатка можно отметить отсутствие обоснования выбора треугольных управляющих сигналов при разработке алгоритмов прогнозирования.

9. **ПАО «МИЭА»**, отзыв на автореферат диссертации, **отзыв положительный**, подписан главным специалистом, д.т.н., профессором В.Е. Куликовым, заверен начальником отдела кадров, организации труда и заработной платы И.И. Карнеевой, утвержден временным генеральным директором, к.т.н., доцентом П.Е. Данилиным.

По материалам автореферат диссертационная работа имеет следующие недостатки:

1. Автором отмечается недетерминированный режим работы следящего электромеханического рулевого привода (стр. 9), тогда как

привод работает по принципу построения детерминированной системы.

2. Обучение нейронной сети (стр. 16) происходит по результатам работы математической модели деградаций привода, а не по результатам натуральных наблюдений. Материалы адекватности модели деградации реальному приводу в работе не показаны.
3. Несмотря на физически правильное ранжирование информационных признаков диагностических сигналов, применение формулы критерия  $\chi^2$  Пирсона для отбора признаков в смысле «наибольшей важности» не имеет доказательной базы своего использования. В рассмотренной задаче статистического анализа применение критерия Пирсона требует большого объема выборки, который согласно формуле (стр. 18), судя по размерам количества  $s$  классов состояний и числа  $r$  градаций признаков, недостаточен для прямого использования критерия.

10. **АО «НЦВ Миль и Камов»**, отзыв на автореферат диссертации, **отзыв положительный**, подписан начальником отдела имитационного и функционального моделирования, д.т.н., старшим научным сотрудником А.В. Сизовым, утвержден главным конструктором – заместителем директора научно-конструкторского центра перспективного проектирования ВКЛА А.Ю. Вагиным.

К недостаткам автореферата можно отнести следующие:

1. В тексте автореферата отсутствует формальная постановка общей задачи разработки методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода летательного аппарата, не обозначены объект и предмет исследования.
2. Не представлена предлагаемая архитектура системы ранней диагностики ЭМРП, в том числе системы верхнего и нижнего уровней и их взаимодействие.
3. На странице 12 рисунок 2 не соответствует принятому представлению программных и математических моделей, а отражает скорее схематическое построение комплекса диагностики ЭМРП.

11. **ПАО «ОАК «ОКБ Сухого»**, отзыв на автореферат диссертационной работы, **отзыв положительный**, подписан главным конструктором по системам управления ЛА, д.т.н., профессором С.В. Константиновым, утвержден первым заместителем управляющего директора – директором «ОКБ Сухого» М.Ю. Стрельцом.

В качестве недостатков диссертационной работы Скрябина А.В. следует отметить:

1. В автореферате диссертационной работы отсутствует анализ эффективности применяемых в настоящее время методов эксплуатации для функциональных систем и агрегатов летательного аппарата.
2. Из материалов автореферата не ясно, каким образом степень деградации элементов электромеханического привода связана с выполнением требований по устойчивости, управляемости и безотказности системы управления летательного аппарата.
3. На стр. 15 автореферата приведены три класса состояния привода, для которых отсутствуют оценки по последствиям их влияния на безопасность полета летательного аппарата согласно нормативным, общим техническим требованиям, предъявляемым к ЛТХ и системам летательных аппаратов.

### **Выбор официальных оппонентов и ведущей организации**

обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом анализа сложных технических систем и синтеза средств диагностики, в том числе, в области, соответствующей паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки) и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

СПБГЭТУ «ЛЭТИ» является ведущей организацией авиационной промышленности по разработке методов анализа состояния электромеханических приводов, фундаментальных научных исследований, а также решения задач синтеза оптимальных алгоритмов управления электромеханическими системами. Заключение по диссертационной работе обсуждено и подписано учеными, которые непосредственно занимаются вопросами, связанными с построением программного и аппаратного обеспечения электромеханических рулевых приводов летательных аппаратов.

Романова-Большакова Ирина Константиновна – автор более 60 научных работ, имеет зарегистрированные права на результаты интеллектуальной деятельности. Под руководством И. К. Романовой-Большаковой ведется разработка технологий интеллектуального анализа данных для диагностики повреждений в системах летательных аппаратов, разрабатываются и исследуются методы многокритериальной оптимизации выбора индикаторов состояния сложных технических систем.

Косьянчук Владислав Викторович – автор более 120 научных работ, имеет зарегистрированные права на результаты интеллектуальной деятельности. Под руководством В.В. Косьянчука выполняется интеллектуализация летательных аппаратов гражданской авиации, разрабатываются методы построения отказоустойчивых систем управления.

### В дискуссии приняли участие:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
Евдокименков Вениамин Николаевич	д.т.н., проф., 2.3.1.
Падалко Сергей Николаевич	д.т.н., проф. 1.2.2.
Красильщиков Михаил Наумович	д.т.н., проф., 2.3.1.
Бобронников Владимир Тимофеевич	д.т.н., проф., 2.3.1.
Тюменцев Юрий Владимирович	д.т.н., доц., 2.3.1.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), а **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Формализована задача ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода (ЭМРП) с использованием методов интеллектуального анализа данных и сформирована ее архитектура.
2. Разработаны модели оценки технического состояния ЭМРП, обеспечивающие построение и применение алгоритма диагностики. Для разработанных моделей исследованы критерии выбора методов интеллектуального анализа данных и выбран классификатор на базе нейронной сети.
3. Разработаны методы генерации новых данных, являющихся ценным источником информации о развитии неисправности в ЭМРП, и используемых для построения и применения алгоритмов классификации и прогнозирования технического состояния.
4. Определены репрезентативные параметры деградаций редуктора ЭМРП: люфт и трение, и разработана специализированная математическая модель рабочих процессов при таких деградациях, используемая для создания и отработки технологии ранней диагностики ЭМРП.
5. Разработана система классификации технического состояния с использованием анализа механических и логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик, которые могут быть использованы для определения классов технического состояния ЭМРП
6. Разработаны алгоритмы оценки технического состояния и прогнозирования его изменений, обеспечивающих высокую эффективность на данных моделирования деградаций редуктора, подтвержденных результатами экспериментальных исследований системы ЭМРП.

**Новизна полученных результатов** заключается в том, что:

- Разработана программно-математическая модель деградаций редуктора ЭМРП и система классификации технического состояния по обоснованно выбранным значимым параметрам деградаций люфта и трения с использованием анализа статических и динамических характеристик ЭМРП. Модель подтверждается данными испытаний и адаптирована к работе с эксплуатационными данными работы реальных приводов.

- Разработана методика обнаружения деградаций при воспроизведении стационарного управляющего сигнала треугольной формы, опробованная на программно-математической модели ЭМРП и исследовано влияние параметров, характеризующих деградации, на регистрируемые сигналы для классификации технического состояния ЭМРП

- С использованием результатов моделирования изменений технического состояния редуктора ЭМРП разработаны классификатор технического состояния на базе нейронной сети и алгоритм построения линейного тренда на базе оптимизационных моделей и подтверждена их высокая эффективность работы.

**Теоретическая значимость** заключается в разработке моделей и методов системы ранней диагностики технического состояния ЭМРП, которые подтверждаются результатами математического моделирования и экспериментальных исследований.

**Практическая значимость** работы заключается в формировании и отработке рекомендаций по архитектуре, функциям и алгоритмам системы ранней диагностики технического состояния ЭМРП. Реализация предложенных автором новых научно-технических решений в области систем диагностики технического состояния ЭМРП позволит:

- повысить безопасность полета и снизить затраты на сервисное обслуживание перспективных пилотируемых и беспилотных ЛА с силовой системой управления на базе ЭМРП.

- использовать разработанные подходы и методы в инженерной практике для диагностики технического состояния электромеханических систем в авиационном, железнодорожном и автомобильном транспорте с повышенной степенью электрификации.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается следующими актами о внедрении результатов диссертации:

1. Акт внедрения в Открытое акционерное общество «Летные испытания и производство им. Гризодубовой В.С.»

2. Акт внедрения в филиале «Стрела» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

**Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию** в организациях, осуществляющих разработку систем управления летательных аппаратов, таких как АО «ПМЗ Восход», «ЛЭТИ», ЦНИИ РТК, МАИ, АПКБ, КБПА и пр., а также в конструкторских бюро, занимающихся созданием летательных аппаратов: ПАО «ОАК», ПАО «Яковлев», ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, ПАО «ОАК», ОКБ Микояна. и др.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что основные положения диссертации опираются на современный математический аппарат и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Соискателем разработаны и используются корректные математические модели и алгоритмы. В рамках исследования автором грамотно применены методы системного анализа, методы обработки информации в сложных системах, методы теории больших данных, методы машинного обучения, компьютерное моделирование сложных технических систем с использованием специализированных сред моделирования и методы экспериментальных исследований силовых систем управления.

**В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:**

1. Если объективно классифицировать предаварийный привод как нормальный и есть риск потери летательного аппарата в полете – это одно, но если ошибочно классифицировать штатное состояние как предаварийное – это другие потери. В этих случаях стоимость ошибки разная.

2. Было учтено всего лишь два фактора, описывающих отказные ситуации. Какие-то дополнительные деградации системы не попали в обучающую выборку. При этом в выступлении не отмечено каким образом задавались параметры учитываемых отказов.

Соискатель Скрыбин А.В. ответил на задаваемые вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Оценка стоимости для эксплуатации, для технического обслуживания не проводилась, это планируется сделать в следующих работах. Результат работы этой системы – это ограничение режимов, либо реконфигурация в полете. Результат работы этой системы – выявление предотказного состояния, для помощи наземному техническому персоналу.

2. Трение и люфт описывается в модели одним и двумя параметрами соответственно. Для выбора значений проведено четыре эксперимента, но без статистического распределения. Требованию по люфту и трению формируются по частотным и механическим характеристикам. Границы допустимых характеристик задаются требованиями по устойчивости и управляемости. По люфту – фиксированные, по трению – это требует дополнительных исследований.

**В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник.** Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

На заседании 20 июня 2024 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и принял решение за **новые научно-обоснованные технические решения**, имеющие существенное значение для развития авиационной отрасли страны в части создания силовых систем управления с электрическим энергопитанием присудить Скрябину Алексею Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета  
24.2.327.03, д.т.н., профессор  
Малышев Вениамин Васильевич



---

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.03, д.т.н., доцент  
Старков Александр Владимирович



---

«20» июня 2024 г.

Начальник отдела ДС МАИ  
Т.А. Аникин

