

## ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора технических наук, доцента, доцента кафедры Робототехнические системы и мехатроника Московского государственного технического университета (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Романовой-Большаковой Ирины Константиновны

на диссертацию Скрябина Алексея Валерьевича на тему «Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

### Актуальность темы диссертации

Современные тенденции к повышению степени электрификации летательных аппаратов (ЛА) и в применении в качестве исполнительных механизмов электромеханических систем, обуславливают необходимость организации их безопасной и эффективной эксплуатации. Одним из видов наиболее широко применяемых электромеханических систем является электромеханический рулевой привод (ЭМРП), который уже в настоящее время нашел применение в беспилотных летательных аппаратах и является неотъемлемой частью концепции перспективного «более электрического самолета» (БЭС). ЭМРП является частью (подсистемой) системы рулевых приводов, которая является частью комплексной системы управления полетом ЛА, т.о. ЭМРП является критически важной системой, которая должна сохранять работоспособность и реализовывать заданные статические и динамические характеристики на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Одним из способов повышения безопасности системы ЭМРП является оснащение его системой ранней диагностики, которая с одной стороны может выявлять неисправности до наступления отказа, а с другой повышать эффективность технического обслуживания, планируя его «по состоянию»

диагностируемой системы. ЭМРП, в отличие от систем реализующих постоянную скорость (двигатели, генераторы, насосы, трансмиссия и пр.), является позиционной следящей системой, поэтому при функционировании воспроизводит сигнал с различными ускорениями при действии механической нагрузки. Поэтому для создания систем ранней диагностики ЭМРП требуется разработка методики и алгоритмов подобной системы, что и было сделано автором в его диссертационной работе.

### **Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- Применением методов системного анализа для построения методики ранней диагностики.
- Экспериментальным подтверждением программно-математической модели ЭМРП, которая была разработана автором для моделирования сценариев процессов развития деградаций редуктора.
- Оценке эффективности применения алгоритмов ранней диагностики, основанных на интеллектуальном классификаторе и сравнительном анализе полученных в расчетном эксперименте результатов.

Полученные автором диссертации основные методические и расчетные результаты прошли апробацию на отечественных и международных научно-технических конференциях.

Построение диссертационной работы логично, в ней проведен анализ основных ключевых вопросов:

1. Формализованы признаки неисправностей и предложены схемы анализа данных, формируемых при функционировании ЭМРП. Исследованы критерии выбора эффективных методов анализа данных.

2. Проведены экспериментальные исследования процессов развития деградаций редуктора ЭМРП, которые обеспечили параметризацию и подтверждение разработанной автором программно-математической модели ЭМРП.
3. В разработанной автором программно-математической модели ЭМРП, детализированы процессы износа редуктора и проведено моделирование сценариев деградаций, связанных с увеличением трения и люфта.
4. Представлены численные результаты сравнения эффективности использования интеллектуального классификатора для классификации и прогнозирования технического состояния редуктора ЭМРП с использованием результатов моделирования.

#### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе**

Научная новизна результатов диссертации заключается в разработанных автором методике и алгоритмах, которые позволяют эффективно классифицировать техническое состояние следящей электромеханической системы и определять тренды его изменения для прогноза отказов.

Моделирование сценариев процессов износа для получения выборок, используемых в интеллектуальном классификаторе, впервые выполнено с использованием разработанной и экспериментально верифицированной автором программно-математической модели ЭМРП, в которой виде «двухмассовой системы «электродвигатель – редуктор» детализирована модель механической подсистемы привода, а процессы развития деградаций связываются с техническим состоянием параметрами люфта и трения.

Рецензируемая диссертационная работа написана корректным научным языком, достаточно хорошо технически оформлена и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук.

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, из которых 3 статьи в научных периодических изданиях перечня ВАК, 6 в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science. Автором зарегистрировано 2 патента на полезную модель и 1 свидетельство программы для ЭВМ.

### **Значимость полученных результатов для науки и практического применения**

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты этого исследования позволяют выполнить аппаратную реализацию системы ранней диагностики, что предполагает сделать автор при создании прототипа, описание разработки и отработки которого представлено в приложении к диссертации.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Разработанные в диссертации методика и алгоритмы могут найти применение для ранней диагностики электромеханических систем, применяемых как на ЛА, так и на наземном электрическом железнодорожном и автомобильном транспорте.

### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), а именно:

- пункт 2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.»
- пункт 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.»

– пункт 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.»

– пункт 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.»

– пункт 11 «Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов.»

Соответствие содержания диссертационной работы специальности 2.3.1. подтверждается используемыми методами исследования, апробацией работы и положениями, вынесенными на защиту.

#### **Оценка содержания и внутреннего единства диссертации**

В автореферате представлены разделы, отражающие содержание и структуру диссертационной работы: актуальность, цель, задачи, методы исследований, основные положения, научная новизна, практическая значимость, достоверность, апробация, выводы. Приводится краткое содержание глав диссертации, описание разработанных методов, основные результаты расчетов. Таким образом, автореферат соответствует основным положениям диссертации, дает целостное и полное представление о содержании и результатах работы.

#### **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.

Приведенные замечания не снижают научной ценности и значимости полученных результатов диссертационной работы для их практического применения.

### **Заключение**

Диссертационная работа Скрябин Алексея Валерьевича на тему: «Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной лично автором, в ней содержится решение важной и актуальной задачи ранней диагностики системы электромеханического рулевого привода ЛА. Работа имеет важное значение для развития технических наук и направлена на повышение эффективности эксплуатации системы рулевых приводов ЛА.

Диссертация написана на высоком научном уровне, что свидетельствует о высокой научной подготовке соискателя. Автор имеет

большой опыт практической работы в сфере расчетных и экспериментальных исследований электромеханических систем ЛА и является сложившимся научным специалистом высокой квалификации.

Таким образом, диссертация «Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода» соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор Скрябин Алексей Валерьевич, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент

Д.т.н., доцент, доцент кафедры Робототехнические системы и мехатроника (СМ-7) МГТУ им. Н.Э. Баумана

Романова-Большакова Ирина Константиновна

«А» 05 2024 г.

[irina.romanova@bmstu.ru](mailto:irina.romanova@bmstu.ru), 84992636195, 89645960579

Адрес:

105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр. 1

Подпись Романовой-Большаковой И.К. удостоверяю

Долгопольская Ж.А.  
СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ  
ОТДЕЛ КАДРОВОГО  
УПРАВЛЕНИЯ



С отзовом отнакомлен

23.05.2024