

Ученому секретарю диссертационного совета
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук
24.2.327.03

При ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)

д.т.н., доценту

А.В. Старкову

125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Скрябина Алексея Валерьевича на тему
*«Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики
технического состояния электромеханического рулевого привода
летательного аппарата с использованием интеллектуального анализа
данных»*, представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика (технические науки)

Актуальность исследования. В настоящее время в авиационной промышленности внедряются технологии организации технического обслуживания по состоянию агрегатов систем управления авиационной техники. Внедрение обслуживания по состоянию позволяет повысить эффективность технического обслуживания и безопасность эксплуатации авиационной техники, что особенно актуально для перспективных пассажирских самолетов, в которых предполагается использовать приводы отклонения рулевых поверхностей электромеханического типа (ЭМРП). Несмотря на то, что ЭМРП уже сейчас широко применяется на беспилотных летательных аппаратах, внедрение его в систему управления полетом электрического пассажирского самолета сопряжено с рисками, относящимися к его безопасной эксплуатации в связи с недостаточно изученными аспектами его работы и их связи с процессами износа, которые в конечном счете

приводят к отказам. В этой связи исследования в области разработки методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода летательного аппарата в настоящее время весьма актуальны.

Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов, ранней диагностики сложной технической системы ЭМРП на основе системного подхода с использованием интеллектуального анализа данных для повышения безопасности эксплуатации и эффективности технического обслуживания при использовании ЭМРП в системах управления полетом.

Для достижения поставленной цели автор успешно решает ряд научно-технических задач, что подтверждают структура и содержание текста диссертации, написанной на высоком научном уровне, снабженной достаточным количеством иллюстративного материала и содержащей ссылки на источники.

Текст автореферата соответствует тексту диссертации и позволяет ознакомиться со всеми основными достигнутыми результатами. Диссертационная работа состоит из четырех глав.

В первой главе автор проводит обзор общемировых тенденций построения систем ранней диагностики ЭМРП, а также исследует уже созданные методы и алгоритмы, используемые в подобных системах. При исследовании структуры системы ЭМРП автор делает справедливый вывод о том, что наиболее ответственной подсистемой в нем является редуктор, заклинивание которого может приводить к катастрофической ситуации. В авиастроении существующие системы и средства ранней диагностики преимущественно применяются в силовых установках, которые при развитии определенной частоты вращения ротора реализуют на выходном звене заданную силу тяги. В таком режиме силовая установка работает длительно на детерминированных режимах полета. В результате анализа областей применения систем и средств диагностики автор делает обоснованный вывод о возможности разработки системы ранней диагностики для ЭМРП, управление которым организовано при замыкании обратной связи по положению выходного звена, а сценарий управления ЭМРП предполагает

воспроизведение сигналов с необходимой динамикой, обеспечивающих управление угловым положением самолета в пространстве.

Во второй главе автор представляет результаты разработки программно-математической модели ЭМРП, позволяющей моделировать процессы износа редуктора, для этого редуктор описывается моделью двухмассовой системы, в которой учитываются моменты сухого и вязкого трения, люфт и контактная деформация соединяемых звеньев (моментов инерции ротора и редуктора). Для получения выборок данных, необходимых для разработки и исследования интеллектуального классификатора автор разработал и предложил методику отработки процессов развития деградаций в ЭМРП, которая основана на известном методе ускоренного воспроизведения рабочих циклов. Результаты проведенных автором стендовых испытаний ЭМРП позволили обоснованно выбрать параметры, характеризующие деградации редуктора: трение и люфт, а также значимые внешние факторы воздействия: механическая нагрузка и температура. С учетом результатов стендовых исследований статических и динамических характеристик ЭМРП, автором была параметризована и верифицирована разработанная программно-математическая модель и осуществлено моделирование сценариев износа с использованием разработанной методики ускоренной отработки процессов развития деградаций, таким образом для интеллектуального классификатора сформированы обучающая и тестовая выборки.

В третьей главе автор представляет разработанный подход ранней диагностики, в котором формализована задача идентификации технического состояния, как совокупность задач классификации и прогнозирования. В связи с тем, что создание аналитических методов ранней диагностики требует описания всех состояний, в которых функционирует ЭМРП, и является трудновыполнимой задачей, то для решения задач классификации и прогнозирования предлагается применять методы интеллектуального анализа данных. При выборе метода построения интеллектуального классификатора автор рассматривает и исследует разные методы, но делает обоснованный вывод, что наиболее подходящим методом для решения данной задачи является нейронная сеть, которая обеспечивает высокую точность решения, является устойчивой к работе с зашумленными сигналами и обладает высокой компактностью хранения данных, что позволяет использовать ее на

промышленных контроллерах. Представлены разработанные схемы анализа данных, необходимые для построения алгоритмов классификации и прогнозирования технического состояния, а также при их использовании.

В четвертой главе на основании подхода, сформулированного в третьей главе, приводятся результаты разработки алгоритмов, использующих методы интеллектуального анализа данных, которые исследуются на выборках данных, полученных в второй главе. Для построения интеллектуального классификатора автор предлагает комбинировать алгоритм классификации с использованием нейронной сети с алгоритмами фильтрации, обеспечивающими выбор из множества регистрируемых в ЭМРП сигналов наиболее информативных для диагностики информативных признаков. Для этого используется статистический отбор признаков с использованием критерия согласия Пирсона (хи-квадрат) и установления связанных регрессионной зависимостью сигналов путем построения корреляционных плеяд. В результате из 12 сигналов отобраны 4 информативных, что обеспечивает снижение времени решения при классификации и обеспечение высокой точности решения. Высокая точность решения подтверждается на выборках моделирования неисправностей смешанного типа, характеризующихся параметрами люфта и трения, для которых построено множество нейронных сетей с различной структурой, оценено качество их работы и выбрана структура, обеспечивающая наилучшие показатели эффективности работы классификатора.

Для разработки алгоритма прогнозирования автор осуществляет построение амплитудных спектров контролируемых сигналов и из них информативных признаков для каждого порядкового номера измерения путем суммирования амплитуд на определенных диапазонах частот, на которых проявляются деградации. Сумма амплитуд, полученная для конкретного измерения, является интегральным информативным признаком, связанным с развитием деградаций, и используется для построения тренда по порядковым номерам измерений. Для выбора границ диапазонов частот предлагаются оптимизационные модели, которые позволяют выбрать наилучшие показатели качества линейного тренда по критериям: угол наклона линейного тренда и коэффициент детерминации. Предложено использовать многокритериальную оптимизационную модель, которая является универсальной и позволяет

определить вводимые ограничения на критерии оптимизации и однокритериальные оптимизационные модели, которые при наличии введенных ограничений на отдельные критерии не требуют высокой длительности расчета. Выбраны параметры генетических алгоритмов, обеспечивающие сходимость решения при выполнении оптимизационных расчетов и определены Парето-фронты, на основании которых выбраны наилучшие совокупности значений критериев для построения выраженных и адекватных моделей трендов изменения информативных признаков при прогнозировании деградаций.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы. Наиболее значимыми новыми научными результатам, представляющими теоретический интерес можно отнести: методику формирования выборок данных при эксплуатации ЭМРП и методику построения алгоритмов классификации и прогнозирования, основанных на методах интеллектуального анализа данных, которые обеспечивают фильтрацию контролируемых параметров и высокую точность решения.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- разработана методическая основа для создания системы ранней диагностики технического состояния следящей позиционной системы ЭМРП летательного аппарата;
- формализованы признаки износа и разработана экспериментально подтвержденная математическая модель, описывающая рабочие процессы, связанные с развитием неисправностей редуктора ЭМРП;
- разработаны комбинированные алгоритмы классификации и прогнозирования, основанные на нейронных сетях, генетических алгоритмах и статистических методах фильтрации, которые эффективно решают задачу определения технического состояния ЭМРП.

Практическая значимость работы состоит в том, что с учетом целевого применения ЭМРП, исследованы критерии, позволяющие выбрать методы интеллектуального анализа данных при построении системы ранней диагностики и показана высокая эффективность работы определенных методов. Кроме того, автором разработан прототип установки и проведены

тестовые ресурсные испытания для получения выборок данных о функционировании ЭМРП.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Научные положения и выводы в диссертационной работе изложены последовательно и подробно. Полученные результаты строго обоснованы.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием методов системного анализа, применении адекватных задаче математических средств для построения модели системы ЭМРП и алгоритмов диагностики, сравнением результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов, а также оценке эффективности работы реализованных алгоритмов с использованием метрик, устоявшихся в анализе данных.

Результаты работы докладывались на 11 научно технических конференциях и семинарах. По теме работы:

- опубликовано 3 работы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, из них 1 работа написана лично без соавторов.
- опубликовано 6 работ в изданиях, индексируемых международными базами цитирования Scopus и Web of Science.
- зарегистрировано 2 патента на полезные модели и 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

Все результаты диссертационной работы получены автором лично или при его непосредственном участии.

Соответствие содержания диссертации специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), т.к. содержит «разработку модели системы ранней диагностики технического состояния ЭМРП и определение ее архитектуры», «разработку модели деградации характеристик ЭМРП на основе экспериментальных данных и математического моделирования», «разработку и исследование методов и алгоритмов анализа функционирования ЭМРП [...] на основе анализа больших данных», «оценку эффективности разработанных методов и алгоритмов ранней диагностики».

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.

Приведенные замечания не снижают научной и практической ценности выполненной диссертационной работы.

Заключение: Диссертационная работа Скрябина А.В. представляет законченную квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи ранней диагностики сложной технической системы электромеханического рулевого привода летательного аппарата.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, соответствующих специальности 2.3.1 и включенных в перечень ВАК.

Диссертационная работа Скрябина Алексея Валерьевича соответствует критериями, изложенным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, в ред. от 25.01.2024.

Скрябин Алексей Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор

Заместитель Генерального директора

ФАУ «ГосНИИАС»



В.В. Косьянчук

20.05.2024

Подпись Владислава Викторовича Косьянчука удостоверяю

Начальник отдела кадров

Е.В. Кабурова

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ФАУ «ГосНИИАС»),

Адрес организации: 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7

Тел.: +7 (499) 157-70-47

Сайт: <https://gosniias.ru/>

e-mail: info@gosniias.ru

С отзывом ознакомлен

27.05.2024