

ОТЗЫВ

научного руководителя Баженова Сергея Георгиевича на диссертационную работу Скрябина Алексея Валерьевича на тему «Разработка методов и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния электромеханического рулевого привода», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

А.В. Скрябин окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана в 2011 г по специальности «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации». В течение нескольких лет он занимался анализом системы электромеханического рулевого привода (ЭМРП) силовой системы управления самолета.

Разработки перспективных самолетов характеризуется ростом степени электрификации системы рулевых приводов (концепция «более электрический самолет - БЭС») и применения в качестве исполнительных механизмов рулевых поверхностей ЭМРП в рамках концепции «электрическое крыло» для самолетов транспортной категории. ЭМРП является критически важной подсистемой системы рулевых приводов, которая обеспечивает управление летательным аппаратом (ЛА) путем отклонения рулевых поверхностей с высокими динамическими характеристиками и точностью позиционирования. Отказ или существенное ухудшение характеристик ЭМРП может приводить к авиационным происшествиям. Поэтому целесообразны разработка и внедрение методов и средств диагностики состояния ЭМРП для заблаговременного обнаружения деградации характеристик на базе анализа больших объемов данных и исключения неисправностей и отказов. Внедрение подобных методов и средств диагностики также позволят снизить стоимость жизненного цикла системы рулевых приводов путем организации сервисного обслуживания по состоянию.

Целью диссертационной работы Скрябина А.В. 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 беспилотных ЛА и БЭС. Для достижения поставленной цели автором разрабатываются модели деградации характеристик на основе математического моделирования и верификации по экспериментальным данным и модели системы ранней диагностики технического состояния ЭМРП. При подготовке к проведению экспериментальных исследований был разработан метод ускоренных испытаний, который использовался для воспроизведения циклограмм математической модели при моделировании процессов износа редуктора. Была подтверждена эффективность предложенных методов, алгоритмов и моделей путем сравнения результатов моделирования и экспериментальных данных.

Скрябин А.В. обосновал целесообразность разработки системы ранней диагностики технического состояния ЭМРП, подсистемами которой являются блок управления и контроля ЭМРП, интеллектуальный классификатор и база прецедентов. На основе системного подхода определены структура и функции системы ранней диагностики, заключающиеся в накоплении и интеллектуальном анализе больших массивов прецедентных данных, получаемых в ходе жизненного цикла и математического моделирования ЭМРП. По результатам экспериментальных исследований и анализа рабочих процессов автором разработаны методы оценки технического состояния и выбраны параметры деградаций, значения которых соответствуют определенным техническим состояниям редуктора, работоспособность которого критически важна для обеспечения безопасного полета. Разработанные методы использовались для оценки деградаций в ходе испытаний ЭМРП элерона самолета транспортной категории, проводимых на

стенде нагрузочных машин в ЦАГИ. Разработанные автором методы использованы в учебном процессе Филиала «Стрела» МАИ.

Скрябиным А.В. разработана методика формирования данных о работе ЭМРП с использованием известного метода ускоренного воспроизведения рабочих циклов, при котором работа, выполняемая приводом в процессе испытаний, соответствует типовой полетной циклограмме, воспроизводимой на протяжении всего времени эксплуатации привода. При исследовании нелинейной системы ЭМРП предлагается использовать треугольную форму управляющего сигнала с амплитудой и частотой, подбираемыми для обеспечения предельного по скорости режима работы ЭМРП. Разработанная методика позволяет сократить длительность ресурсных испытаний по сравнению с длительностью жизненного цикла как минимум в 20 раз.

Скрябин А.В. разработал математическую модель подсистемы редуктора ЭМРП в виде «двухмассовой системы», которая адаптирована к проведению исследований деградаций редуктора по параметрам деградации «люфт», «сухое трение» и «вязкое трение», значения которых существенно влияют на статические и динамические характеристики ЭМРП. Характеристики, полученные с помощью математической модели соответствуют экспериментальным с ошибкой, не превышающей 10%. Моделирование деградаций позволило отработать отдельные компоненты подхода ранней диагностики ЭМРП и получить данные обучающей и тестовой выборки для разработки и исследования алгоритмов диагностики.

Разработанная модель подсистемы редуктора была использована для создания модели ЭМРП беспилотного летательного аппарата, которая, в свою очередь, была использована при разработке системы управления ряда отечественных БЛА.

Для создания системы ранней диагностики автором разработана схема анализа данных, которая включает методы интеллектуального анализа данных, методы прогнозирования изменения признаков и методы предобработки данных. Для формирования требований к системе ранней

диагностики выбраны и исследованы критерии, необходимые для формирования совокупности системы ранней диагностики. Дана оценка практического применения двух групп критериев: критерии выбора методов построения модели оценки системы ранней диагностики и критерии формирования требований к эксплуатационным свойствам системы ранней диагностики.

Автор провёл и представил результаты расчётных исследований алгоритмов классификации технического состояния при моделировании треугольного сигнала и варьировании значений люфта и сухого трения. С использованием разработанной схемы анализа данных, данные моделирования ЭМРП БЛА были разделены на обучающую выборку и тестовую выборку. Далее с использованием искусственных нейронных сетей прямого распространения решалась задача классификации технического состояния. Применение алгоритмов предобработки позволило повысить точность классификации технического состояния с 96,70 % до 98,01 % и снизить количество нейронов в скрытом слое.

Для прогнозирования технического состояния ЭМРП автором разработаны и исследованы однокритериальные и многокритериальные оптимизационные модели, позволяющие найти информативные диапазоны частот на спектре стационарного сигнала, которые обеспечивают максимальные показатели качества линейного тренда, а именно коэффициент детерминации и угол наклона линейного тренда. Для поиска оптимальных значений показателей качества линейного тренда использовались генетические алгоритмы параметры работы которых были выбраны в ходе расчетного эксперимента и обеспечивают максимальную сходимость решений при ограниченных вычислительных затратах: размер популяции 5000 особей, количество поколений 20. Разработанные методы прогнозирования были использованы для эффективного построения линейного тренда по контролируемым параметрам, записанным в ходе моделирования и по

экспериментальным виброакустическим данным ресурсных испытаний бесколлекторного электродвигателя.

Результаты проведенных расчетных исследований показали эффективность разработанных алгоритмов классификации и прогнозирования технического состояния и возможность их применения в аппаратном прототипе системы ранней диагностики натурального ЭМРП.

Дальнейшее развитие направлений исследований, которым посвящена диссертационная работа Скрябина А.В. представляется весьма актуальным и перспективным вследствие повышения электрификации ЛА и внедрения в качестве исполнительных механизмов электромеханических систем.

Результаты, полученные Скрябин А.В. в ходе выполнения диссертационной работы с достаточной полнотой описаны и представлены. Диссертационная работа имеет хорошую апробацию. Материалы работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях и семинарах.

В целом диссертационная работа представляет собой обоснование и решение актуальной комплексной научно-технической задачи разработки методов, моделей и алгоритмов системы ранней диагностики технического состояния ЭМРП для повышения безопасности ЛА и эффективности сервисного обслуживания. Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит новые теоретические и практические результаты и полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Считаю, что автор работы – Скрябин Алексей Валерьевич продемонстрировал способность самостоятельно ставить и решать научно-технические задачи, и заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Научный руководитель,
доктор технических наук, доцент,
начальник НИО-15, ФАУ «ЦАГИ»,
заведующий кафедрой С-12 филиала «Стрела» МАИ,
профессор УНИЦ АЛТ МФТИ



С.Г. Баженов
13.03.2024

Подпись Баженова Сергея Георгиевича удостоверяю

Заместитель генерального директора по
вооружению, военной и специальной технике –
начальник центра безопасности полетов,
ФАУ «ЦАГИ»
к.т.н.



Гранич В.Ю.