

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)**

**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный
авиационный
технический университет
имени П. А. Соловьева»
(РГАТУ имени П. А. Соловьева)**

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rsatu.ru

№ _____

443086, г. Самара,
Московское шоссе, 34
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С.П. Королева
Учёному секретарю
диссертационного совета 24.2.379.10
д-ру техн. наук, доценту
Виноградову А.С.

ОТЗЫВ

на автореферат Сундукова Александра Евгеньевича
на тему: «Разработка методов анализа динамических процессов
и оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД»
на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 2.5.15 – Тепловые, электроракетные двигатели
и энергоустановки летательных аппаратов

Одним из самых нагруженных узлов авиационных ГТД является планетарный редуктор привода воздушных винтов и вентиляторов. К его основным дефектам относят износ боковых поверхностей зубьев и увеличение бокового зазора в зубчатом зацеплении. Наиболее интенсивно эти дефекты развиваются в паре «солнечная шестерня - сателлиты», что приводит к генерации вибрации, возбуждающей резонансные колебания элементов конструкции двигателей и может приводить к обрыву рабочих лопаток отдельных ступеней компрессора, к появлению трещин, к разрушению дисков ряда ступеней, к разрушениям зубчатого зацепления и других элементов конструкции двигателя.

Практика эксплуатации ГТД и других роторных машин показывает, что наиболее эффективным методом контроля и диагностики их технического состояния является вибродиагностика. Однако в настоящее время вопросы оценки изменения вибрационного состояния редукторов ГТД при износе их зубьев проработаны недостаточно. Отсутствуют предложения по выявлению диагностических признаков износа на основе анализа сигналов штатных тахометрических датчиков частот вращения валов ГТД. Подавляющее большинство диагностических моделей планетарных редукторов предназначено для оценки уровней динамической нагруженности элементов их конструкций и оценке собственных частот колебаний отдельных деталей. Отсутствуют

Входящий № *206-9496*
Дата **11 ДЕК 2024**
Самарский университет

математические модели, учитывающие изменение вибрационного состояния редуктора при развитии дефекта, в том числе, изменения ширины спектральных линий отдельных составляющих исследуемых процессов. Не решена проблема достоверности диагностических признаков, полученных в условиях испытательного стенда при перестановке двигателя в состав летательного аппарата.

Автором диссертационной работы рассматриваются весьма актуальные вопросы обеспечения надёжности двигателей за счёт повышения достоверности оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД путём разработки моделей и методов анализа вибрации и динамических составляющих сигналов штатных тахометрических датчиков.

В работе используются эмпирические и теоретические методы исследования. Решение поставленных задач базируется на анализе разработанных математических моделей и предложенных методов выявления диагностических признаков, полученных экспериментальных данных, известных положений технической диагностики, теории колебаний, теории вероятностей и математической статистики, положений статистической радиотехники, цифровой обработки сигналов.

Научная новизна работы заключается в разработке метода оценки технического состояния редуктора, нечувствительного к перестановке двигателя со стенда в состав летательного аппарата за счёт использования выявленных диагностических признаков по параметрам девиации мгновенных значений частоты узкополосного процесса вибрации и частоты вращения вала ГТД.

Разработан метод демодуляции, обеспечивающий выявление и существенное повышение чувствительности диагностических признаков в широком диапазоне частот вибрационного процесса двигателя. Разработана имитационная математическая модель вибрационного состояния пары «солнечная шестерня - сателлиты» планетарного редуктора при развитии износа зубьев. Предложен комплекс математических моделей, позволяющий оценивать ширину спектральных линий: зубцовой составляющей вибрации, сигнала частоты вращения выходного вала редуктора в вибрационном процессе и в сигнале штатного тахометрического датчика, учитывающий рост ширины зубцовой компоненты с развитием износа зубчатого зацепления. Впервые установлена возможность использования динамических составляющих сигналов штатных тахометрических датчиков не только для оценки частот вращения валов ГТД, но и для диагностики износа зубьев редуктора. Разработан комплекс новых диагностических признаков на основе анализа сигналов вибрации и динамических составляющих сигналов штатных тахометрических датчиков, позволяющий оценивать износ зубчатого зацепления редукторов ГТД, для обеспечения надёжности в процессе эксплуатации.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректной физической и математической постановкой задач, сопоставлением результатов с данными других исследователей, успешным их использованием в практике применения на ряде предприятий, сопоставлением фактических значений величины износа с данными диагностики.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработан комплекс новых диагностических признаков дефектов на основе анализа вибрации и сигналов штатных тахометрических датчиков планетарных редукторов ГТД, существенно расширяющий возможности оценки их технического состояния. Предложен метод устранения необходимости пересчёта уровней интенсивности диагностических признаков износа редуктора ГТД, построенных на базе интенсивности вибрации, которые получены в условиях стенда при переходе на объект за счёт использования разработанных диагностических признаков на основе параметров мгновенных значений частоты узкополосного процесса вибрации и частоты вращения вала ГТД, что практически в два раза сокращает затраты при разработке методик диагностики дефектов путем исключения необходимости дополнительных измерений сигналов в условиях эксплуатации.

Предложен комплекс методик оценки технического состояния редукторов ГТД, обеспечена возможность существенного упрощения оценки технического состояния редукторов ГТД в эксплуатации на объекте за счёт только анализа сигналов штатных тахометрических датчиков частот вращения входного и выходного роторов;

Разработаны рекомендации по назначению норм на диагностические признаки износа для обеспечения надёжности двигателя в эксплуатации. Разработаны программные продукты обработки сигналов и методики мониторинга технического состояния планетарных редукторов ГТД.

Работа состоит из 8 разделов, затрагивающих все аспекты проведенных исследований. Доказаны актуальность, научная новизна и практическая значимость работы. Полученные результаты имеют ясную научную трактовку, их достоверность доказана экспериментами и практикой. Материал изложен последовательно, логично, на высоком научном уровне, и в целом соответствует уровню докторской диссертации по рассматриваемой специальности.

В качестве замечаний можно отметить.

1. В тексте автореферата не приводятся кинематические схемы исследуемых редукторов, их кинематические характеристики и схемы нагружения. Не отражена информация о возможности применения предложенной методики для планетарных редукторов других типов.

2. Вопрос назначения (расчёта) норм на диагностические признаки износа в тексте автореферата отражен недостаточно полно.

3. Схемы, представленные на рис.1, 5 алгоритмами, как таковыми не являются. По ним неочевидны условия выбора способов диагностики, их необходимого количества и последовательности выполнения.

4. В разделе 7 заявлено о разработке более ста диагностических признаков, однако не приведены рекомендации по их выбору с точки зрения достоверности получаемых результатов. Нет ранжирования их по значимости, погрешностям, условиям применения.

Указанные замечания носят не критичный характер и не снижают научной значимости проведенного исследования.

Таким образом, диссертационная работа Сундукова Александра Евгеньевича на тему: «Разработка методов анализа динамических процессов и оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД» на соискание учёной степени доктора технических наук является законченной научно-квалификационной работой. Результаты диссертационной работы имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Автор достаточно полно проработал очень сложный вопрос обеспечения надёжности двигателей за счёт повышения достоверности оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД путём разработки моделей и методов анализа вибрации и динамических составляющих сигналов штатных тахометрических датчиков. По теме исследования опубликовано 57 работ, в том числе, 25 статей в периодических изданиях, включённых в перечень ВАК России, и 27 публикаций в изданиях, индексируемых РИНЦ, получено 5 патентов на изобретения.

Считаю, что диссертационная работа Сундукова Александра Евгеньевича соответствует паспорту заявленной специальности и требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Сундуков Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.15 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выражаю согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора технических наук Сундукова Александра Евгеньевича.

Профессор кафедры «Инновационное машиностроение»
ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева,
д-р техн. наук по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»



Семенов Александр Николаевич

Тел.: +7 (905) 132 6388
e-mail: semenov.an@mail.ru

Зав. кафедрой «Проектирование машин»
ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева,
канд. техн. наук по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»



Болотеин Алексей Николаевич

Тел.: +7 (910) 665 3964
e-mail: bolotein@rsatu.ru

Россия, 152934, г. Рыбинск, Ярославская обл., ул. Пушкина, 53,
ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Соловьева.

Учёный секретарь учёного совета
ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева



С.А. Волков

05.12.2024