

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Сундукова Александра Евгеньевича, выполненной на тему «Разработка методов анализа динамических процессов и оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

На официальный отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, восьми разделов, заключения, списка использованной литературы и семи приложений, а также автореферат. Объем диссертационной работы машинописного текста, включающий рисунка, таблиц наименований списка используемой литературы. Работа написана технически грамотным языком, каждый раздел работы представляет собой полноценное научное исследование с основными выводами, которые могут служить как основой для дальнейших исследований, так и для практического руководства при диагностике технического состояния ГТД.

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Сундукова Александра Евгеньевича посвящена разработке методов анализа динамических процессов, генерируемых планетарным редуктором ГТД при развитии износа его зубьев и расширению возможностей неразрушающих технического состояния двигателя с использованием как вибрационных процессов, так и сигналов «штатных» тахометрических датчиков частот вращения входного и выходного валов редуктора.

Аналитическая часть включает разработку наиболее полной имитационной модели генерируемой редуктором вибрации при развитии износа. Кроме того, как комплекс моделей ширины спектральной линии составляющей на частоте вращения выходного вала редуктора. В вибрационном процессе и сигнале «штатного» тахометрического датчика его вращения. Это позволило сформулировать ряд новых направлений в разработке диагностических признаков технического состояния редуктора.

Краткая характеристика работы

Во введении дана общая характеристика работы: актуальность, цель, задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, методы исследований, основные положения, выносимые на защиту, реализация и внедрение полученных результатов, апробация и публикации, основные защищаемые положения. Приведены структура и краткое содержание диссертации.

В первом разделе выполнен обзор научно-технической литературы по диагностике технического состояния зубчатых зацеплений. Рассмотрены типовые дефекты зубчатых зацеплений и методы их вибродиагностики. Показаны особенности вибрации планетарных редукторов ГТД и основные её источники. Выявлен ряд недостаточно проработанных проблем: относительно беден набор диагностических признаков рассматриваемых дефектов, известные математические модели вибрации, генерируемой зубчатой парой при развитии износа не в полной мере представляют генерируемую вибрацию, отсутствуют модели, учитывающие увеличение ширины спектральных линий ряда составляющих при развитии износа. Не используются в качестве источника

Входящий № 206-7454
Дата 15 ОКТ 2024
Самарский университет

диагностический информации сигналы «штатных» тахометрических датчиков частот вращения входного и выходного валов редуктора, нет предложений по преодолению проблемы изменения интенсивности диагностических признаков, построенных на интенсивности вибрации, при перестановке двигателя с использованного стенда на объект.

Второй раздел посвящен разработке новых методов выявления диагностических признаков дефектов. Метод устранения влияния перестановки двигателя со стенда в состав летательного аппарата на параметры интенсивности вибрации, за счет перехода на разработанные диагностические признаки по параметрам девиации мгновенных (текущих) значений частоты. Для реализации метода разработаны: критерий узкополосности и ряд способов получения диагностических признаков по параметрам текущей частоты узкополосного процесса. Новизна четырех из них подтверждена соответствующими патентами на изобретения.

Метод демодуляции вибрационного сигнала на основе анализа максимумов широкополосной вибрации. Метод реализован в виде спектра максимумов, что позволило многократно расширить частотный диапазон выделенных модулирующих составляющих, каскадной демодуляции с расширением частотного диапазона полученных данных практически на порядок, биполярного анализа, повышающего чувствительность до 70%. Новизна последнего подтверждена соответствующим патентом на изобретение.

В третьем разделе дана оценка некоторых погрешностей. Показано, что при определении максимального уровня колебаний резонансной системы следует учитывать изменение скорости перестройки частоты вращения ТК при приемлемости, при изменении атмосферного давления. Установлено, что влияния этого дефекта значимо для добротностей резонанса >50 и частот <500 Гц. Выполнена оценка погрешностей оценки частоты с сигналов «штатных» тахометрических датчиков. Установлено, что основной вклад в суммарную погрешность вносит зубчатый привод датчиков от роторов ТК и ВЗВ. Оценка по методу максимума – минимума по ГОСТ 21098-82, с учетом основной погрешности ДЧВ дает следующие результаты: для ДЧВ ротора ТК – 3,1%, для ВЗВ – 5,1%. Полученные результаты показывают, что сигналы «штатных» ДЧВ можно наравне с вибрацией использовать в оценке технического состояния редуктора ГТД.

В четвертом разделе представлены результаты разработки диагностических моделей, используя в качестве прототипа имитационную модель узла механизма, предложенную в работе М.Д. Генкина и А.Г. Соколовой, разработана более полная имитационная модель вибрации, генерируемой парой «солнечная шестерня – сателлиты», включающая три ряда составляющих вибрации, составляющие амплитудной и частотной модуляций и вибрационного шума. Предложены модели ширины спектральной линии зубцовой составляющей для вновь изготовленных и отремонтированных двигателей и двигателей с износом. Представлен комплекс моделей ширины спектральной линии частоты вращения выходного вала редуктора в вибрационном процессе и сигнале «штатного» тахометрического датчика выходного вала редуктора.

Пятый раздел содержит экспериментальную базу исследований, оценку потенциальной опасности генерируемой износом вибрации, выявления источника резонансных колебаний элементов конструкции компрессора. Представлены экспериментальные данные по 18 отремонтированным двигателям и 15 двигателям с разной степенью износа зубьев редуктора. Показано, что источником резонансных колебаний является не 19,0 гармоника, как показано в ранних исследованиях, а

составляющая с кратностью 19,145. Эта составляющая принадлежит одному из рядов разработанной имитационной модели. Установлено, что на частоте этой составляющей возбуждаются изгибно-крутильные колебания, вызывающие резонансы элементов конструкции компрессора.

Шестой раздел посвящен разработке диагностических признаков износа боковых поверхностей зубьев. При этом используются как разработанные методы анализа сигналов, так и известные. Анализировались как вибрационные процессы, так и сигналы «штатных» тахометрических датчиков частот вращения входного и выходного валов редуктора. Представлено обоснование диагностических признаков расцентровки приводного вала и солнечной шестерни. Показано, что при расцентровке в одной плоскости (три варианта) генерируется, помимо первой роторной гармоники еще и вторая. При дополнительной скрещивании осей при определенном соотношении углов расцентровки первой и второй плоскостей, появляется еще и третья гармоника.

В седьмом разделе представлены результаты разработки диагностических признаков величины бокового зазора в паре «солнечная шестерня – сателлиты» по материалам 18 двигателей, прошедших ремонт. Получен комплекс диагностических признаков при анализе как вибрационных процессов, так и сигналов «штатных» тахометрических датчиков частоты вращения входного и выходного валов редуктора. Общее число диагностических признаков износа и величины бокового зазора более ста. Также их разнообразие позволяет диагностировать исследуемые дефекты с широким кругом вариантов наличия технических и методических средств.

В восьмом разделе представлены практические аспекты применения разработанных подходов. Дан анализ влияния места постановки двигателя (стенд, объект) и типа используемого воздушного винта (укороченный и тяжелый винт) на диагностические признаки построенные по интенсивности вибрации и на основе параметров девиации частоты узкополосного процесса. Показано, что перестановка двигателя со стенда на объект приводит к увеличению диагностических признаков до 2,37 раза и не влияет на диагностические признаки, построенные на параметрах частоты. Замена укороченного воздушного винта на тяжелый до режима работы 0,85 номинального не оказывает влияние на уровень диагностических признаков, построенных на параметрах частоты. Далее наблюдается их рост. Следовательно, проблему увеличения диагностических признаков, построенных на интенсивности вибрации, при перестановке двигателя со стенда на объект можно решить использованием разработанных диагностических признаков на основе анализа характеристик частоты узкополосного процесса в условиях испытательного стенда при анализе режимов не выше 0,85 номинального. Установлено, что разработанные диагностические признаки описываются линейной, степенной экспоненциальной и комбинацией линейной и экспоненциальной математическими моделями. Показано, что уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ для первых трех видов следует определять по ГОСТ Р ИСО 1373-2-2009, для четвертого случая принять точку перехода линейной части в экспоненциальную.

В заключении изложены основные выводы и результаты.

Достоверность результатов

Обоснованность и достоверность результатов определяется использованием известных положений функциональных наук, корректностью использования математических моделей и подтвержденной их адекватностью реальным физическим процессам: совпадением теоретических результатов с данными экспериментов и

результатами исследований других авторов с результатами использования в эксплуатации полученных результатов, экспертизами ВНИЦ ГМЭС с признанием ряда решений патентами РФ, публикацией результатов исследований в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК, а также индексируемых в публикационной базе данных РИНЦ.

К основным результатам относятся:

1. Разработана имитационная модель вибрационного состояния пары «солнечная шестерня – сателлиты» планетарного редуктора, отличающаяся от известных более полным представлением генерируемых составляющих вибрации при развитии износа боковых поверхностей зубьев и позволившая определить источник резонансных колебаний элементов конструкции двигателя.

2. Предложен комплекс моделей ширины спектральных линий: зубцовой составляющей вибрации, частоты вращения выходного вала редуктора в вибрационном процессе и сигнале «штатного» тахометрического датчика, учитывающий её рост с развитием износа, что позволило предложить его новые диагностические признаки.

3. Разработан метод демодуляции вибрационного процесса выявления диагностических признаков в широком диапазоне частот и повышающий их эффективность.

4. Предложен метод оценки технического состояния редуктора, нечувствительный к перестановке двигателя со стенда в состав летательного аппарата за счет использования выявленных диагностических признаков по характеристикам девиации мгновенных значений частоты узкополосного процесса.

5. Показана возможность использования сигналов «штатных» тахометрических датчиков частот вращения входного и выходного валов редуктора как источников диагностической информации, что позволило существенно упростить контроль технического состояния редуктора в условиях эксплуатации.

6. Разработанный комплекс диагностических признаков позволяет оценивать техническое состояние редуктора с использованием различных вариантов наличия технических и методических средств.

Теоретическая и практическая значимость работы

Приведенные в диссертационной работе результаты позволяют сделать вывод о том, что предложенные автором новые методы анализа динамических процессов, в том числе сигналов «штатных» тахометрических датчиков частот вращения валов редуктора и разработанный на их базе комплекс диагностических признаков его технического состояния позволяют, в отличие от существующих, существенно расширить возможности диагностических измерений и обеспечивают относительно простую их проведения в условиях эксплуатации двигателя.

Соответствие содержания диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» и напрямую отвечает следующим пунктам паспорта:

8. «Колебания в тепловых двигателях летательных аппаратов. Резонансные явления, автоколебательные и нестационарные процессы в конструкции двигателей. Способы борьбы с опасными вибрациями в двигателях» (Разработана имитационная модель вибрации пары «солнечная шестерня – сателлиты», позволившая выявить источник резонансных колебаний элементов конструкции компрессора. Предложены методы выявления диагностических признаков опасной вибрации).

10. «Методы испытаний двигателей, их элементов и агрегатов, системы автоматизированного сбора, обработки и анализа экспериментальных данных, включая комплексную автоматизацию стендовых испытаний» (Разработаны способы выявления диагностических признаков износа. Новизна пяти из них подтверждена соответствующими патентами на изобретения).

13. «Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, стадий и этапов их жизненного цикла (создания, производства, эксплуатации и утилизации)». (Имитационная модель вибрации пары «солнечная шестерня – сателлиты» при износе её зубьев, позволившая выявить вибрационные процессы, генерируемые при развитии износа и комплекс моделей ширины соответствующих спектральных составляющих.

19. «Методы и средства диагностики технического состояния двигателей и энергетических установок летательных аппаратов. Эксплуатационная технологичность». (Метод повышения эффективности демодуляции вибрационных процессов и метод выявления диагностических признаков на основе данных параметров девиации текущей частоты узкополосного процесса, повышение эксплуатационной технологичности за счет анализа сигналов «штатных» тахометрических датчиков частот вращения входного и выходного валов редуктора).

Замечания по содержанию диссертации и автореферата

В работе достаточно много выявлено диагностических признаков износа на основе анализа параметров частоты узкополосных процессов при анализе девиации частоты с сигнала «штатного» тахометрического датчика частоты вращения выходного вала редуктора. Однако, ничего не сказано о возможности использования характеристик интенсивности данного сигнала.

Замечания по оформлению диссертации:

-Нарушена нумерация литературных источников по диссертации начиная с 1 го и по порядку от введения и по следующие главы.

- Название всех Глав напечатано не по госту.

- Грамматическая ошибка на стр 173.181, 187.206,208,209,220,222,

- По 7 главе. П. 7.2 много графиков без описания процессов.

Заключение

Диссертационная работа Сундукова Александра Евгеньевича на тему «Разработка методов анализа динамических процессов и оценки технического состояния планетарных редукторов ГТД» является завершенной научно-квалификационной работой, представляя собой законченное научное исследование, обладающее несомненной научной новизной, теоретической и практической ценностью. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует специальности: 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» и требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства

Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842, с изменениями, принятыми Постановлением Правительства Российской Федерации №335 от 21 апреля 2016г.

Замечания по диссертационной работе не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы. Результаты исследования достоверны и апробированы на российских и международных научных конференциях, форумах и семинарах. Уровень и объем публикаций автора, отражающих основные полученные результаты, соответствуют требованиям пунктов 11 и 13 « Положения о присуждении ученых степеней» Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, с изменениями, принятыми Постановлением Правительства Российской Федерации №335 от 21 апреля 2016г.

Диссертация и автореферат содержат совокупность выполненных на защиту положений и полностью соответствуют научной специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Диссертационная работы может быть представлена к защите на диссертационном совете Д 212.215.08. В Целом, диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ предъявляемым к докторским диссертациям.

Официальный оппонент

Профессор кафедры Конструирование

и технология производства

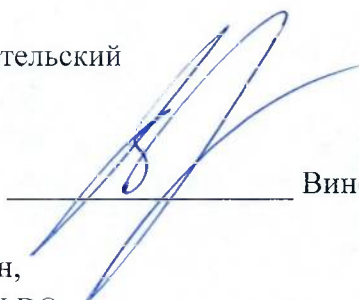
электронных средств ФГБОУ ВО

«Казанский национальный исследовательский

технический университет

им. А. Н. Туполева –КАИ»

доктор технических наук, доцент



Виноградов В.Ю.

420111, Россия, Республика Татарстан,

Г. Казань, ул. К. Маркса д.10, ФГБОУ ВО

«Казанский национальный исследовательский

технический университет

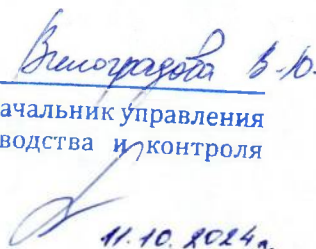
им. А. Н. Туполева –КАИ»

Тел.: (843) 238-41-10 Факс: (843) 236-60-32

E-mail: kai@kai.ru, <http://www.kai.ru>

Подпись

завещаю. Начальник управления
делопроизводства и контроля



11.10.2014г.

