



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ» (АО «ОДК»)

пр-т Буденного, д. 16, г. Москва, 105118, ИНН 7731644035, КПП 997450001, ОГРН 1107746081717
тел.: +7 (495) 232-55-02, факс: +7 (495) 232-69-92, www.uecrus.com, e-mail: info@uecrus.com

02.12.2020 № 0621-25713

на № _____ от _____

Председателю диссертационного совета
Д212.125.08 на базе ФБГОУ ВО
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» (МАИ)

Доктору технических наук, профессору
Ю.А. Равиковичу

Волоколамское ш., д.4, г.Москва А-80,
ГСП-3, 125993

Тел./факс: +7(499) 158-29-77

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляем Вам отзыв официального оппонента доктора технических наук Мельниковой Нины Сергеевны на диссертационную работу Зубко Алексея Игоревича на тему: "Комплексная методика виброакустической диагностики технического состояния подшипниковых опор газотурбинных двигателей", представленной в диссертационный совет Д212.125.08 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

ПРИЛОЖЕНИЕ: отзыв в 2-х экземплярах на 6 л. каждый.

Главный конструктор по САУ АД и ГТУ

ПК «Салют» АО «ОДК», д.т.н.

Добрянский Г.В.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«03 12 2020»

Г.В. Добрянский

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук Мельниковой Нины Сергеевны на диссертационную работу Зубко Алексея Игоревича «Комплексная методика виброакустической диагностики технического состояния подшипниковых опор газотурбинных двигателей», представленную в диссертационный совет Д212.125.08 на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Повышение уровня параметров современных авиадвигателей для достижения требуемых тяговооруженности и экономичности связано с повышением интенсивности рабочих процессов. В связи с этим повышение степеней сжатия и температуры газа перед турбиной существенно усложняют обеспечение работоспособности и надежности двигателя, выдвигая эти показатели в качестве первостепенных.

Высокая напряженность отдельных элементов и узлов двигателя, сложность условий эксплуатации маневренных самолетов могут приводить в отдельных случаях к возникновению критических ситуаций. В настоящее время наиболее остро стоят проблемы работоспособности межроторных подшипниковых опор коаксиальных роторов ГТД, т.к. подшипниковые опоры являются тем критическим элементом, который в значительной степени определяет ресурс и ухудшение в работе двигателя в целом. Возникающие в подшипниковых опорах деградиационные процессы некоторое время носят бессимптомный характер, затем происходит быстротечный лавинообразный процесс разрушения подшипников, приводящий к непредвиденным отказам в работе сопутствующих узлов и деталей двигателя, что нередко приводит к нестабильности его характеристик и даже к разрушениям, делающих двигатель неремонтопригодным.

Следовательно, создание новых способов и методов диагностики для получения своевременной информации, достоверно определяющей повреждение подшипниковых опор на ранних стадиях зарождения дефекта, не приводящего к существенному повреждению двигателя, является важной научно-практической задачей. Диссертант, проведя глубокий анализ существующих методов и алгоритмов диагностики подшипниковых опор авиадвигателей, предлагает ряд новых методов и алгоритмов, объединенных в комплексную методику.

Диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научном и методическом уровне. Весь изложенный материал посвящен теме работы, достижению поставленной цели и решению поставленных задач. Материал автореферата не противоречит диссертации.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

03 12 2020

Диссертация и автореферат написаны профессионально грамотно и аккуратно оформлены.

В первой главе диссертации проведен анализ авиационного двигателя как объекта контроля и диагностирования, определены его особенности и специфика. Диссертантом рассмотрены основные факторы, влияющие на ресурс подшипниковых опор и сформулированы требования к системе диагностики. Диссертант провел подробный сравнительный анализ существующих методов диагностики и контроля вибросостояния подшипниковых опор ГТД с выделением основных групп анализа, в которые входит: трендовый анализ, анализ сигналов во временной и частотной области, многомерный анализ вибрации; рассмотрел функциональные схемы методов, их достоинства и недостатки, провел экспертную оценку по ряду критериев и показал, что рассмотренные методы информативны и эффективны, но при значительных повреждениях межроторных подшипниковых опор, сопровождающихся прогрессирующей деградацией взаимодействующих рабочих поверхностей. Однако, ни один из существующих методов не удовлетворяет полностью предъявляемым требованиям, поэтому необходима разработка более эффективных методов диагностики, позволяющих обнаружить повреждения в подшипниковых опорах на ранних стадиях.

Наиболее предпочтительными, по мнению диссертанта, являются методы, реализующие анализ вибросостояния в высокочастотной области работы ГТД, и многомерный анализ траектории перемещения точки конца вектора вибрации.

Во второй главе диссертант рассматривает вопросы разработки диагностической модели технического состояния подшипниковых опор ГТД. Исследованы технические состояния четырех радиальных подшипников опоры турбины высокого давления авиационных двигателей АЛ-31ФП, АЛ-41Ф-1С, АЛ-41Ф-1, АЛ-55И, показано, что 90% отказов связаны с питтингом; наиболее вероятной причиной повреждения деталей межроторных подшипниковых опор является нерасчетное нагружение, возникающее при динамических изменениях нагрузок в двигателе маневренного летательного аппарата (проведен анализ полетной информации самолета СУ-30МКИ).

Автором выделены пять стадий повреждения подшипниковых опор, сформированы требования к методам диагностики на каждой из пяти стадий повреждения и определены диагностические признаки, которые в дальнейшей исследовательской работе были использованы для формирования диагностической модели повреждения подшипниковых опор. Автор предлагает использовать высокочастотные составляющие спектра вибрации как наиболее чувствительные и поэтому способные обнаружить повреждения деталей подшипников на начальных стадиях. По мере развития повреждений максимум высоких частот вибрации

смещается в низкочастотный диапазон работы ГТД и здесь наблюдается рост амплитуды вибрации.

На последующих этапах деградации информативными становятся признаки, связанные с поведением вектора вибрации, которые можно анализировать по фазо-частотным характеристикам и по поведению амплитуды роторных гармоник.

Автор также предлагает применять орбитальный анализ для детального исследования динамического поведения системы и идентификации диагностических признаков развития повреждения деталей межроторных подшипниковых опор.

В третьей главе диссертант рассматривает вопросы разработки комплексной методики виброакустической диагностики технического состояния подшипниковых опор ГТД и разрабатывает методы диагностики, исходя из требований к ним на каждом этапе развития повреждения.

-разработан метод орбитального анализа вибрации, даны структурная и функциональная схемы его проведения;

- разработаны алгоритмы анализа, представляющие собой измерения вибрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях с пересечением осей измерения на строительной оси двигателя.

Предложенный диссертантом метод позволяет анализировать одновременно орбиты двух и более роторов.

Диссертантом разработаны структура и алгоритмы функционирования комплексной методики, которые реализуются поэтапно: на первом этапе выполняется одновременный поиск диагностических признаков работающего ГТД путем анализа виброакустических параметров, на втором этапе выполняется анализ проявления признаков (срабатывание метода диагностирования). При выявлении диагностических признаков одним методом выполняется дополнительная проверка с помощью диагностического приспособления ДП-03 в процессе холодной прокрутки роторов ГТД. Выявление двух и более диагностических признаков подтверждает повреждение подшипниковой опоры и двигатель отстраняется от эксплуатации.

По разработанным алгоритмам диссертантом получена диагностическая матрица состояний роторных систем, которая дает возможность автоматически или визуально распознавать техническое состояние подшипниковых опор.

В качестве иллюстрации автор представляет таблицу, в которой даны стадии повреждения подшипниковой опоры и примеры отображения повреждений, зафиксированных разработанными методами диагностики на каждой стадии зарождения повреждений.

Показано, что разработанная автором комплексная методика обладает высокой достоверностью и защитой от ложных срабатываний на основании подтверждения или опровержения диагноза несколькими методами диагностирования.

В четвертой главе диссертант приводит материалы по использованию комплексной методики виброакустической диагностики технического состояния подшипниковых опор ГТД:

- на примере исследования межроторного подшипника двигателя АЛ-31ФП на первом этапе верификации разработанной комплексной методики подтверждена работоспособность предложенных методов и алгоритмов;
- на примере определения динамических характеристик ротора ТРДД, установленного на вакуумном разгонном-балансировочном стенде HL-4 Schenck на втором этапе выполнялась верификация метода определения фазы колебаний ;
- на третьем этапе была проведена диагностика подшипниковой опоры ВСУ-117 и определены причины ее выхода из строя;
- на четвертом этапе проведена реализация элементов комплексной методики в модуле контроля и диагностики роторных систем, интегрированного в информационно-диагностический комплекс АРМ-ДК-30(СД) серии М для двигателей АЛ-31ФП и АЛ-41Ф-1С.

Также была проведена реализация элементов комплексной методики в аппаратно-программном комплексе контроля и оценки технического состояния ГТД АЗ-1.

При работе над диссертацией диссертант показал хорошие знания рабочих процессов ГТД, методов контроля и диагностики межроторных подшипниковых опор.

Научная обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждена совпадением результатов исследований на математической модели с данными натурных испытаний. Результаты диагностирования подшипниковых опор ВСУ-117, с использованием разработанной комплексной методики, дали основания для проведения дополнительных расчетов и последующего внесения конструктивных изменений в устройство.

Разработанные диссертантом алгоритмы комплексной методики реализованы в информационном диагностическом средстве АРМ ДК-30(СД) серии М, что позволяет выполнять диагностирование технического состояния подшипниковых опор двигателей АЛ-31ФП и АЛ-41Ф-1С в условиях эксплуатации.

Разработанный диссертантом комплексный метод позволяет повысить эффективность диагностирования технического состояния межроторных подшипников и подшипниковых опор ГТД на различных стадиях развития повреждения. В этот комплексный метод входят:

- метод орбитального анализа вибрации роторов ГТД и алгоритмы диагностирования с его применением. Орбитальный анализ позволяет определить примерное положение ротора ГТД в подшипниковых опорах и исследовать динамическое состояние роторных систем. На основе этого метода определены диагностические признаки выхода из строя подшипниковых опор и сформирована диагностическая матрица состояния.
- метод и алгоритмы диагностирования по изменениям фазы колебания роторов ГТД;
- метод и алгоритмы по анализу амплитуды колебания роторов ГТД;
- метод и алгоритмы исследования по спектральному анализу акустического давления работающего ГТД.

Основные положения диссертации достаточно полно раскрыты в 52 публикациях в научно-технических журналах, в том числе в 13 публикациях в журналах, рекомендованных ВАК. Материалы диссертации прошли апробацию среди ведущих специалистов на Российских и Международных конференциях. По результатам исследования получены 20 патентов на изобретения.

Тема и содержание диссертации соответствует специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Результаты диссертации целесообразно довести до сведения специалистов, занимающихся разработкой конструкции современных ГТД, их систем контроля и диагностики.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

- 1 диссертант провел апробацию своей комплексной методики только на двигателях, с известными диссертанту дефектами подшипниковых опор, но отсутствует оценка работоспособности методики на двигателях с заранее неизвестным техническим состоянием подшипниковых опор;
- 2 из материалов диссертации не следует, принимал ли автор непосредственное участие в экспериментальных работах или использовал накопленный ранее статистический материал;
- 3 не приведена статистика исследования: сколько двигателей исследовалось, на каких режимах, какая наработка этих двигателей с начала эксплуатации;
- 4 из материалов диссертации не следует, на основании каких материалов (экспериментальных или расчетных) автор получил графические изображения различных видов дефектов подшипниковых опор;
- 5 диссертант подробно рассмотрел в таблице 1 существующие методы диагностирования и дал им бальную оценку, но предложенный автором комплексный метод и его составляющие не оценены по той же бальной системе;
- 6 изложение текста диссертации носит повествовательный характер, без указания личного участия автора в конкретных работах, отсутствуют фразы, например:

«автором установлено...», «автором доказано...» и т.п., поскольку в литературных источниках, на которые автор ссылается, есть и соавторы;

7 конечно-элементная модель ГТД для исследования колебательных процессов в диссертации приведена очень лаконично: не раскрыты физика процессов в конечных элементах, принятые допущения, не приведена блок-схема расчета; отсутствует ссылка на материал с подробным изложением математической модели ,
8 автором определен метод использования технических микрофонов для виброакустического диагностирования, но не рассмотрено отличие своего метода применения от уже известного метода, например, в широко применяемом диагностическом виброметре «Вадим»,

Не смотря на грамотное и аккуратное оформление диссертации, ее текст не лишен замечаний:

- расчетные блок-схемы программ, разработанных автором на основе существующих программных пакетов «Siemens Samsef Rotor», Matlab, Dewesoft (рис. 2.23, 2.25), экспериментальные данные на рисунках 3.14 и 4.9 приведены в очень мелком формате, что затрудняет чтение и понимание , отсутствуют пояснения по элементам блок-схем рис.2.23 и 2.25;
- на страницах 83 и 125 есть ссылки на рисунки, не соответствующие конкретному тексту;
- повторение одного абзаца на страницах 56 и 58.

Указанные замечания не снижают общей научной и практической ценности диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а автор работы Зубко А.И., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

В связи с большой практической значимостью и существенным объемом проведенных диссертантом исследований, превышающих необходимые требования для кандидатских диссертаций, рекомендую Зубко Алексею Игоревичу продолжить исследования по дальнейшему развитию направления, сформированного в данной диссертации.

Заместитель главного конструктора
ПК «Салют» АО «ОДК», д.т.н.


02.12.20

Мельникова Н.С

*Подпись Мельникова Н.С.
завершено*

НАЧАЛЬНИК БУХ
Б.А. САВАТУГИН



Адрес: 129345, г. Москва,
Магаданская ул., дом 1, кв. 67
тел. +7-916-238-38-67
E-Mail : ninameln1954@yandex.ru

Сотворено официально аппроксим. Зубко А.И. 02.12.2020