Ачык төрдәге акционерлык җәмгыяте
Конструкторлык җитештерү
предприятиесе
"АВИАМОТОР"

420036 Казан ш., Дементьев ур.,1
факс:(843) 571–94–59
тел.:(843) 570–80–70
E-mail: market@aviamotor.ru
http://www.aviamotor.ru

Открытое акционерное общество
Конструкторско-производственное
предприятие
"АВИАМОТОР"

420036 г. Казань, ул. Дементьева, 1
факс:(843) 571–94–59
тел.:(843) 570–80–70
E-mail: market@aviamotor.ru
http://www.aviamotor.ru

«8» декабря 2014 г. №_____

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ОАО КПП «Авиамотор»

Г.З.Муртазин

О Т З Ы В

ведущей организации Открытого акционерного общества «Конструкторско-производственное предприятие «Авиамотор» на диссертационную работу Мирсаитова Фаниса Наилевича «Радиолокационный метод функциональной диагностики ротора газотурбинного авиадвигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 — Радиолокация и радионавигация.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Предложен и исследован способ, а также разработана система функционального диагностирования узлов ротора авиационного газотурбинного двигателя (ГТД): компрессора и турбины высокого давления. Способ включает возбуждение в объеме проточной части в окрестности ступени турбины/компрессора сверхвысокочастотное электромагнитное поле. Предметом исследования является процесс формирования диагностического отклика, включая динамику датчика и построение диагностической системы.

Целью диссертационной работы автор считает создание научно-обоснованных средств функциональной диагностики ротора турбины/компрессора на основе радиолокационного контроля формы огибающей спектра виброскоростей лопаток.

Для достижения поставленной цели считается необходимым **решение следующих задач:**

— Разработка физических принципов радиолокационного способа функциональной диагностики и диагностического алгоритма, включающую выбор диагностического параметра – виброспектра, и диагностического признака – аномалий этого спектра.

— Исследование структуры электромагнитного поля в объеме проточного тракта и зависимости этой структуры от регулярных и аномальных факторов рабочего процесса.

— Создание физической модели вибродатчика и спектрально-корреляционный анализ диагностического отклика с выявлением диагностических признаков.

— Разработка и количественное описание информационного критерия – контролеспособности диагностической системы.

— Модернизация ранее запатентованных диагностической системы и датчика, с учетом особенностей конструкции турбины/компрессора высокого давления в результатах исследования.

В диссертационной работе названные задачи решены, что в своей совокупности обеспечило достижение поставленной цели.

2. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы определяется, с одной стороны, не только развитием авиационного двигателестроения, но и созданием блочных газотурбинных электростанций, а также судовых (военно-морских) энергоустановок.

С другой стороны, наиболее трудные проблемы в функциональной или полетной диагностике остаются открытыми. Эти проблемы обусловлены:

— низкой контролепригодностью существующих газотурбинных двигателей, в частности, их проточных трактов;

— ограниченной контролеспособностью диагностической аппаратуры;

— недостаточным быстродействием средств обработки извлеченной диагностической информации, приводящим к запаздыванию в принятии решений и пагубным последствиям;

— высокой стоимостью оснащения газотурбинного двигателя диагностической аппаратурой, связанного зачастую с внесением изменений в конструкцию двигателя.

Поэтому выработка принципиально новых технических предложений:

— основанных на ранее неиспользованных диагностических параметрах и признаках,

— обеспечивающих невозмущающий контроль,

— не требующих внесения изменений в конструкцию газотурбинного двигателя,

— способных противостоять агрессивным воздействиям в проточном тракте,

отвечает актуальным потребностям авиационной техники и ряда других областей теплоэнергетики.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и одного приложений. Общий объём диссертации 192 страниц текста в том числе 53 рисунков и 11 таблиц. Библиографический список включает 111 наименований.

Во введении отражена актуальность работы, определен предмет исследования, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна и практическая ценность. Названы основные методы исследования.

В первой главе описаны основные принципы технической диагностики ГТД авиадвигателей с особым вниманием к функциональной (полетной) диагностике. Подчеркнуто, что основными средствами функциональной диагностики являются штатные приборы, и что их показания в своей совокупности должны обеспечить экипаж достаточными сведениями о состоянии ГТД, в том числе об угрозе нештатной ситуации.

Особо отмечено, что в отличие от стендовой диагностики, функциональная должна дать ответ на возможность безаварийного продолжения полета.

Выделены виброакустические методы и пути их реализации средствами радио и оптической локации.

Автор приходит к выводу, что наиболее эффективным средством функциональной вибродиагностики является малогабаритные радиолокаторы, позволяющие осуществить оперативный и невозмущающий контроль состояния половины узлов ГТД.

Во второй главе предложен способ радиолокационного виброконтроля и автодинный датчик для его реализации. Произведено моделирование процесса возбуждения электромагнитного поля в объеме секции ГТД, т.е. турбины высокого давления. Установлены характеристики диагностического отклика. Выбрана и детально разработана схема вибродатчика, установлены параметры его динамического режима.

В третьей главе проанализирован спектр диагностического отклика, формируемый регулярным (рабочим) и вибрационным движением колеса турбины. Особенностью радиочастотно-

го отклика и его спектра является частотная модуляция регулярным движением, и амплитудная – вибропроцессом. Отмечено влияние мощности отраженного радиосигнала на контролируемую полосу виброчастот. Описаны помеховые и корреляционные компоненты спектра.

В четвёртой главе построена диагностическая система, включающая виброканал с спроектированным датчиком. В этом канале осуществлено частотное детектирование с выделением рабочего спектра и амплитудное детектирование, спектр сигнала которого соответствует искомому виброспектру.

Описана разработанная многоканальная диагностическая система, осуществляющая контроль неспецифичных для радиолокации помеховых факторов: флуктуаций электронной концентрации, температуры и собственного радиоизлучения плазмы пламени. В системе после совместной линейной обработки снижается степень взаимного влияния названных факторов. Далее в этой главе описаны варианты конструкции датчиков и результаты имитационного и лабораторного экспериментов.

В заключении сделаны выводы об основных результатах работы.

4. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Научная новизна диссертационной работы состоит прежде всего в оригинальном способе, расширяющем функциональные возможности средств ближней радиолокации, а именно, в их применении к замкнутому диагностическому пространству. Найдена и описана структура возбужденного датчиком в этом пространстве электромагнитного поля. С использованием новейшего программного продукта электродинамического моделирования FEKO установлена количественная взаимосвязь возбужденного поля с регулярными и вибрационными перемещениями узлов газотурбинного двигателя в рабочем режиме. В этом плане работа Ф.Н. Мирсаитова выгодно отличается от ряда зарубежных и отечественных патентов и публикаций.

Выбор спектра в качестве диагностического параметра вибропроцесса, само по себе не ново. Но здесь, автором фактически выбраны и описаны количественно три диапазона спектра: радиочастотный, рабочий и вибрационный. В своей совокупности, они позволяют диагностировать работу нескольких узлов. Разработанные автором системные (выбор зондирующей частоты), схемотехнические (тип антенны, автогенератор в автодинном режиме, тип волновода) и конструктивные предложения обеспечивают извлечение диагностической информации в объеме, достаточном для функциональной диагностики.

Найдены спектрально-корреляционные характеристики диагностического отклика с учетом совокупности помех. Оценена контролеспособность датчика и системы по количеству извлеченной информации.

По результатам исследования существенно модифицирована конструкция вибродатчика.

Практическая значимость диссертационной работы в том, что разработанная диагностическая система позволяет в условиях полета и на доаварийной стадии выявить более половины основных неисправностей проточного тракта. Разработанная конструкция датчика сопрягается с существующими в газотурбинном двигателе отверстиями для бороскопического осмотра. Это позволяет оснастить существующие эксплуатируемые двигатели дополнительными диагностическими системами, без каких бы то ни было конструктивных изменений самого двигателя.

5. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ, ЗАКЛЮЧЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Достоверность и обоснованность защищаемых положений и результатов определяется детальным изучением особенностей конструкции и физических процессов в проточном тракте ГТД, корректной формулировкой поставленной задачи, грамотным использованием новейших методов в электродинамике, в частности, средой численного FEKO-моделирования электро-

магнитного поля в секции проточного тракта, а также анализом спектра радиочастотного и последетекторного отклика радиолокационной системы с частотной модуляцией.

Результаты анализа находятся в соответствии с имитационным экспериментом в среде объектного программирования, моделированием процессов в радиодиапазоне, и экспериментальным исследованием переходной характеристики автодинного вибродатчика.

Выводы и рекомендации в диссертационной работе обоснованы и имеют практическую ценность. Последнее подтверждено актами внедрения результатов диссертационной работы в работы профильных предприятий, и в учебный процесс ФГБОУ ВПО «КНИИТУ-КАИ».

Результаты диссертационной работы опубликованы в 16 печатных работах, в том числе в 2 статьях (в ведущем рецензируемом журнале, входящий в перечень рекомендуемых ВАК); в 5 трудах и материалах конференций, в 7 тезисах докладов, в 1 патенте РФ на полезную модель, в 1 патенте России на изобретение. В целом публикации в достаточной мере отражают основное содержание диссертации.

6. ОСНОВНОЕ ДОСТОИНСТВО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Основным достоинством диссертационной работы является ее направленность и успешное осуществление невозмущающего диагностирования наиболее труднодоступного узла – газовоздушного тракта газотурбинного двигателя, что не удавалось специалистам в течение десятков лет. Это достигнуто путем грамотного технического решения, потребовавшего серьезного научного обоснования и, в особенности, хорошего знания и практического знакомства с конструкцией, и условиями эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей.

Исследования, необходимые для реализации предложенного способа и разработки конструкции датчика потребовали овладения математическими методами в различных областях теплоэнергетики, ряда дисциплин радиотехники и, в особенности, знаниями конструкции и эксплуатации авиационной техники.

Автору удалось разрешить ряд противоречий, присущих подобным задачам, и препятствовавшим созданию аппаратуры функциональной диагностики со времен создания газотурбинного двигателя. При этом в полной мере использован опыт ученых Казанского авиационного института в создании радиоволновых датчиков параметров пламен в тепловых энергетических установках.

Хотя расчеты в наиболее существенной части диссертации, разделе 2.3, проведены только в применении к двигателю Д-36, разработки ГП «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» имени академика А.Г. Ивченко», и только для первой ступени турбины высокого давления, они вполне достоверны и легко могут быть распространены на все ступени турбины, и компрессора, где условия для диагностических средств менее жесткие.

В итоге, заложены основы создания нового класса радиолокационных диагностических систем.

7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать на предприятиях и в организациях, занимающихся проектированием, разработкой, испытанием и серийным выпуском систем и устройств технической диагностики газотурбинных, а также реактивных двигателей. Среди них: ОАО КПП «Авиамотор» (г. Казань), ОАО «Казанское ОКБ «Союз» (г. Казань), ОАО «Казанское моторостроительное производственное объединение» (г. Казань), ОАО «Казанский вертолетный завод» (г. Казань), ЗАО «Казанский Гипронииавиапром» (г. Казань), а также другие предприятия авиационного и космического профиля.

8. КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

8.1. Автор несколько преувеличивает диагностическую ценность радиолокационного отклика (что впрочем характерно для многих изобретателей и исследователей). В частности, вызывает сомнения установление факта поломки лопатки по появлению в спектре отклика компонента F_B (частоты вращения). По грубой прикидке, амплитуда этой линии в N раз меньше основных составляющих спектра, где N – число лопаток на рабочем колесе. Кроме того, он расположен на самом зашумленном участке спектра. Неясно, каким образом осуществляется селекция.

8.2. В части термостойкости датчика автор ссылается только на диссертации двух коллег. Но как можно понять, они обеспокоены только перегревом генераторного диода, или нет. По-видимому, ссылка неточная.

8.3. Есть претензии к оформлению диссертации. Ссылки на источники литературы приведены не везде по порядку.

Однако эти недостатки не снижают ценности диссертационной работы.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Диссертация Мирсаитова Фаниса Наилевича представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу. В нем поставлена и решена актуальная научно-техническая задача: осуществление функциональной (полетной) диагностики важнейшего, и в то же время наиболее труднодоступного узла газотурбинного двигателя – ротора турбины высокого давления, с выявлением дефектов на доаварийной стадии. Полученные результаты при их внедрении способствуют повышению безопасности полетов. Сделанные выше замечания не подвергают сомнению достоверность, научную значимость и практическую ценность диссертационной работы.

Научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики радиолокационных систем ближней радиолокации. Содержание автореферата правильно отражает содержание материалов диссертации.

Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа соответствует специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация, в частности пунктам 3, 4, 5 паспорта специальности, и полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункт 9), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании научно-технического совета «04» декабря 2014 г., протокол № 6.

Главный инженер Акчурин Игорь Абидуллович

Начальник конструкторского бюро,
кандидат технических наук Юриков Виктор Петрович