Виноградов Василий Юрьевич Аэроакустическая картография на срезе сопла как метод неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток турбомашин при их холодной прокрутке

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

доктор наук Виноградов Василий Юрьевич

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Рабочие лопатки проточной части турбомашин как объект неразрушающего контроля. Возможные неисправности при эксплуатации турбомашины

1.2 Классификация методов неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин

1.2.1 Методы неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин при горячем пуске

1.2.2 Методы неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин при холодной прокруткее

1.3 Акустические методы неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин

1.4 Газодинамические методы неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин

1.5 Использование математического моделирования процессов в газовоздушном тракте для реализации аэроакустического контроля

1.6 Средства неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин на срезе сопла

1.6.1 Акусто-электрические средства сканирования

1.6.2 Средства сканирования

1.6.3 Точечные и распределенные волоконно-оптические датчики для акустического неразрушающего контроля

1.7 Разработка концепции аэроакустической картографии

1.7.1 Дорожная карта совершенствования концепции аэроакустической картографии неразрушающих методов контроля.

Этапы концепции

1.8 Многоуровневый иерархический классификатор проблемной области проектирования, производства

и эксплуатации аэроакустической картографии как метода неразрушающего контроля на основе использования

распределенных волоконно-оптических датчиков

1.9 Выводы по главе. Задачи дальнейших исследований

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗО-ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК

2.1 Развитие аэроакустического метода контроля технического состояния рабочих лопаток турбомашин

2.2 Общие принципы построения опорного зондирующего газо-воздушного потока, распространяющегося в проточной части турбомашин, и требования к нему

2.2.1. Формирование внешенго опорного зондирующего газовоздушного потока в проточной части турбомашины

2.2.2. Формирование внутреннего опорного зондирующего газовоздушного потока в проточной части турбомашины

2.3 Постановка общей задачи построения математической модели зондирующего газо-воздушного потока и определения его информационной структуры

2.4 Общая математическая модель для оценки аэроакустических параметров зондирующего газо-воздушного потока. Результаты численных экспериментов

2.4.1 Разработка общей математической модели с использованием дополнительных газодинамических параметров

2.4.2 Достоверность измеренных параметров газовоздушного потока проточной части турбомашин

2.5 Возможности применения общей математической модели для описания различных режимов работы турбомашины. Результаты численных экспериментов

2.5.1Обоснование разработки математической модели для неустановившегося и установившегося

режима работы турбомашины

2.5.2 Разработка общей математической модели

для описания неустановившегося и установившегося режима

работы турбомашины. Результаты численных

экспериментов

2.6 Определение критериев диагностирования дефектов

рабочих лопаток

2.6.1 Математические модели рабочих лопаток турбомашин эталона и дефектов №№1, 2, 3 при прогаре

в - 5% - 25% и 50% от эталона

2.7 Выводы по главе

ГЛАВА 3 ГЛАВА 3 АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН НА СРЕЗЕ СОПЛА ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКРУТКЕ

3.1 Разработка и создание акустоэлектрического метода для диагностики технического состояния рабочих лопаток турбомашин

3.2 Объект исследований

3.2.1 Модель блока камеры сгорания

3.2.2 Исследованные варианты

3.2.3 Параметры подобия при исследовании на модели

3.3 Программа исследований

3.4 Методика обработки результатов

3.4.1 Погрешности результатов измерений

3.4.2 Обработка акустических сигналов

3.5 Результаты исследований

3.5.1 Калибровка системы на этапах эксперимента

3.5.2 Окончательный эксперимент

3.5.3 Графики распределения уровня шума за

эталонной и дефектными лопатками

3.5.4 Газодинамические характеристики, измеренные на срезе модели турбомашины для дополнения акустоэлектрического метода диагностики рабочих лопаток при холодной прокрутке

3.5.5 Обработка газодинамических параметров

Упрощенная математическая модель шума

дефектных турбинных лопаток турбомашины

3.6 Адекватность упрощенной математической модели

определения дефекта при исследованиях на экспериментальном стенде на базе МГТД ТА-6А

3.6.1 Упрощенная математическая модель шума

дефектных турбинных лопаток турбомашины

3.6.2 Объект исследования экспериментальный стенд на базе ТА-6А аэроакустической картографии на срезе сопла

3.6.3 Реализация методики акустоэлектрического метода диагностики рабочих лопаток турбомашины на срезе сопла

3.6.4 Верификация результатов эксперимента на ТА-6А

3.7 Выводы по главе

ГЛАВА 4 ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН НА СРЕЗЕ

СОПЛА ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКРУТКЕ

4.1 Теоретические предпосылки для реализации газодинамического метода контроля для диагностики технического состояния рабочих лопаток турбомашины на срезе сопла

4.2 Экспериментальный стенд на базе НК-8

4.2.1 Измерительное оборудование

4.2.2 Электронная система комплекса

4.3 Реализация аэроакустического метода контроля

на базе исследований газодинамических характеристик с целью картографирования 2D параметров на срезе сопла

авиационных ГТД при холодной прокрутке

4.3.1 Анализ результатов исследований

газодинамических параметров измеренных на срезе сопла

4.3.2 Методика измерения газодинамических параметров газо-воздушного потока на срезе сопла турбомашиныы

4.3.3 Графики распределения газодинамических параметров

в плоскости среза сопла для невозмущенной проточной части турбомашин №2 и №3

4.3.4 Графики распределения газодинамических параметров в плоскости среза сопла для возмущенной проточной части турбомашины № 1(2% прогар

турбинной лопатки)

4.3.5 Исследования возмущенного газо-воздушного потока проточной части турбомашин газодинамическим

методом контроля. Результирующие графики

4.3.6 Исследования акустических параметров на срезе сопла на режиме холодной прокруткиа

4.4 Автоматизированный диагностический комплекс «Пилон»

для реализации комбинированного подхода к контролю технического состояния рабочих лопаток турбомашин

4.4.1 Электромеханическая система АДК " ПИЛОН"

4.4.2 Программное обеспечение АДК «ПИЛОН»

4.4.3 Порядок работы на АДК «ПИЛОН»

4.5 Обработка результатов измерений

4.6 Верификация и сопоставление картограмм газодинамических результатов исследований и акустических результатов исследований параметров потока на срезе сопла турбомашины

4.6.1 Упрощенная математическая модель взаимосвязи акустических и газодинамических параметров газовоздушного потока

4.7 Выводы по главе

ГЛАВА 5 РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ АЭРОАКУСТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

5.1 Этапы совершенствования аэроакустических систем контроля

5.2 Возможные средства измерения физических величин.

Оптические методы передачи информации

5.2.1 Мультиплексирование по длине волны (WDM)

5.2.2 Объединение путем частотного разделения каналов (FDM)

5.2.3 Мультиплексирование путем разделения каналов

по времени (TDM)

5.3 Математическая модель представления процессов

акустических параметров волоконно-оптическими датчиками

5.4 Влияние газо-воздушного потока на изменение пространственной конфигурации физического поля измеренного волоконно-оптической сенсорной системой контроля на срезе сопла

5.5 Оценка прочности волоконно-оптической измерительной линии

5.6 Аэроакустическая система контроля параметров на базе волоконно-оптических датчиков

5.6.1 Методика, аппаратура и режимы исследований вентиляторных ступеней и измеренных на срезе моделей волоконно-оптических параметров

5.6.2 Верификация акустических картограмм

параметров потока на срезе вентиляторной ступени

5.6.3 Развитие оптических методов контроля в виде построения картограммы измерительной системы

на срезе сопла турбомашины в 3D формате измерений

5.7 Принципы восстановление акустического поля турбомашины распределенной волоконно-оптической измерительной сетью

5.8 Выводы по главе

ГЛАВА 6 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА СРЕЗЕ СОПЛА ТУРБОМАШИНЫ

6.1 Оптимизация распределенной волоконной аэроакустической

системы контроля акустических полей на срезе сопла турбомашин

6.1.1 Статистический подход решения задачи размещения волоконно-оптических датчиков в плоскости

среза сопла турбомашины

6.1.2 Алгоритм нахождения координат точек контроля

6.2 Восстановление акустического поля по его измерениям

в конечном числе точек

6.2.1 Восстановление акустического поля при некоррелированных коэффициентах разложения

6.2.2 Восстановление акустического поля при

коррелированных коэффициентах разложения

6.3 Определение координат датчиков и погрешности восстановления поля излучения

6.4 Применение аэроакустической системы контроля

в смежных и прямых задачах контроля неисправностей рабочих лопаток

турбомашин

6.5 Диагностирование турбомашин аэроакустической

системой на базе сенсорных волоконно-оптических датчиков

6.5.1. Варианты выявления неисправностей рабочих лопаток турбин и смежных дефектов в двумерном (2D) и трехмерном (3D) форматах по

пространству турбомашины

6.6 Выводы по главе

ГЛАВА 7 СИСТЕМЫ АЭРОАКУСТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ, ИХ БАЗОВЫЕ УЗЛЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОДСИСТЕМЫ

7.1 Внедрение аэроакустических методов, методик систем контроля и диагностики турбомашин, реализующих локализацию дефектов в 1D и 2 D формате в ОАО Авиамотор,

ГНПП Мотор, СТБ Техсервис

7.1.1 Базовые элементы автоматизированной

системы контроля и диагностики рабочих лопаток турбомашин

7.2 Аппаратная часть элементов диагностических устройств контроля рабочих лопаток турбомашин

7.3 Алгоритмы контроля состояния рабочих лопаток, в условиях параметрической и структурной неопределенности газо-воздушного потока на срезе сопла турбомашин

7.3.1 Совместное использование аэроакустической системы и программного комплекса «ГРАД»

7.3.2 Идентификация математических моделей

7.3.3 Алгоритм диагностирования рабочих лопаток турбомашин системой аэроакустической картографии

7.4 Реализация аэро-оптических технологий в акустических и газодинамических направлениях исследований

7.5 Информационно-измерительные системы контроля параметров и визуализация процессов картографирования параметров физических полей

на срезе сопла турбомашин при их испытаниях

7.6. Реализация аэроакустической картографии как метода неразрушающего контроля и практические рекомендации по построению аэроакустических систем контроля

7.6.1 Планирование и проведение испытаний в

наземных условиях

7.6.2 Порядок работы наземной и бортовых

систем контроля

7.6.3 Реализация аэроакустической системы в

виде мобильного диагностического устройства контроля

7.6.4 СУБД по двигателям типа "252"

7.7 Определение метрологических характеристик

аэроакустических систем

7.8 Выводы по главе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ