

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Виноградова Василия Юрьевича «Аэроакустическая картография на срезе сопла как метод неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток турбомашин при их холодной прокрутке» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»

Актуальность диссертационной работы Виноградова В.Ю. определяется отсутствием достоверных методов неразрушающего контроля турбомашин, эксплуатирующихся в различных областях промышленности. На сегодняшний день состояние рабочих лопаток турбомашин определяется, как правило, значениями вибрации, давлением, а также температурой рабочей среды, что не достаточно для прогнозирования разрушения рабочих лопаток.

Автор работы предложил *новый метод диагностики*, особенностью которого является проведение оценки в условиях холодной прокрутки ротора турбомашин с использованием волоконно-оптических методов неразрушающего контроля акустических и газодинамических параметров. Предложенный метод неразрушающего контроля, реализуется на срезе сопла и позволяет визуализировать наличие дефектных лопаток в одномерном (1D), двумерном (2D) и трехмерном (3D) форматах по пространству турбомашин с указанием на предполагаемый тип дефекта.

В процессе работы над диссертацией, автор опирается на опыт и исследования известных ученых России и зарубежных специалистов в различных областях промышленности.

В результате решения ряда задач в интересах указанной цели автором получены следующие научные результаты, имеющие важное значение для развития соответствующей отрасли техники:

1. Развита теория генерации звука в потоке с точки зрения ее применимости в процессе контроля геометрии рабочих лопаток проточной части турбомашин. Разработаны математические модели, включая обобщающую математическую модель, построенная по измеренным экспериментальным данным, которая представлена различной комбинацией параметров для установившегося и неустойчивого режимов работы турбомашин при холодной прокрутке, и предложены технические решения с использованием метода регуляризации для минимизации погрешности, таким образом, что можно спрогнозировать изменения параметров динамической системы проточной части турбомашин по выходному потоку по окружности и по сечению среза сопла и местоположения дефектных лопаток и типа дефекта.

2. Определены принципы построения системы аэроакустической картографии на основе разработки и создания акустоэлектрических способов и средств измерений и подходов, учитывающих особенности открытых систем контроля состояния рабочих лопаток на срезе сопла, с практическими рекомендациями по формированию зондирующих газо-воздушных потоков с требуемыми характеристиками по расходу и скорости. Верифицированы теоретические результаты методом сравнения с экспериментальными результатами, полученными на реальных ГТД с внесением в структуру их проточной части заведомо дефектных лопаток с известным типом дефекта.

3. Впервые теоретически и экспериментально показан отклик акустических характеристик газового потока на изменение геометрии проточной части и критерии их оценки. Разработана эмпирическая формула шума генерируемого дефектом проточной части турбомашин в виде 1D формата представления данных измерений. С увеличением масштаба дефекта возрастают градиенты скоростей, что приводит к увеличению турбулентных пульсаций скорости, и, согласно аэроакустической теории Дж. Лайтхилла, к росту аэродинамического шума. Коэффициент надежности акустоэлектрического метода 0,95.

4. Разработаны принципы построения комплексных систем аэроакустической картографии, дополненных методами и средствами измерений газодинамических параметров потока проточной части на срезе сопла турбомашин, направленных на повышение информативности и уровня алгоритмизации неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток и обеспечивающих получение данных в условиях параметрической и структурной неопределенности газо-воздушного потока, как по контролируемым внутренним сечениям проточной части, так и по выходному сечению на срезе турбомашин в виде 2D формата представления данных измерений. На основании этого построена адаптивная математическая модель взаимодействия шума дефектной лопатки проточной части турбомашин с параметром неравномерности $K_{Рст}$, позволяющая по измеренным спектрам звукового давления на срезе сопла выдать предварительный анализ технического состояния проточной части турбомашин.

Система регистрации параметров давления и температуры обеспечивает следующую погрешность измерения: параметров давления - 0,2%, параметров температуры - 0,3%. Также повышается достоверность и чувствительность газодинамического метода дополненного акустическим методом контроля за счет увеличения точек контроля до 486 по площади сопла в 8 – 10 раз. Выявлен дефект рабочей лопатки турбины НК-8 в 2%. По сравнению с акустоэлектрическим коэффициент надежности составляет 0,97, коэффициент надежности газодинамического метода составляет 0,96. Применение штатных датчиков давления и температуры повышают метрологическую надежность всей системы контроля в целом на 10-15%.

5. Разработаны принципы построения систем аэроакустической картографии на основе мультиплексированных волоконно-оптических датчиков точечного и распределенного двумерного и трехмерного типа, с выработанными практическими рекомендациями по построению их конфигураций для контроля состояния рабочих лопаток турбомашин,

позволяющих контролировать распределение акустических полей соответственно по окружности и сечению среза сопла и визуализировать дефектные лопатки с использованием методов пассивной пространственной локации и определения типа дефекта с использованием методов спектрального анализа, с возможностью реализации 3D формата представления данных измерений.

6. Развиты методы и средства аэроакустической диагностики на основе применения единого поля комплексированных ВОД и принципов пространственной пассивной локации, которые включают в себя широкие вопросы от конфигурации поля и методов съема информации до оптимальных алгоритмов ее обмена и принятия решений, позволяющие сделать новый шаг к решению проблемы безопасности авиационного транспорта. Коэффициент надежности аэроакустического метода контроля на базе КВОД составил 0,98. Применение ВОД позволит сократить время контроля в 2,5-3 раза за счет распределенных линий и снизит погрешность измерения на 8- 10 %.

7. Предложена структура аэроакустического комплекса в виде системы автоматического контроля параметров газо-воздушного потока на срезе сопла турбомшины в виде различного по форме измерительных линий контроля в зависимости от формы контролируемых объектов. Определены принципы размещения точек (датчиков) контроля, алгоритмизация и восстановления оптико-акустических параметров пространственного распределения поля по измерениям в дискретной совокупности точек по отдельности и решены при этом частные модельные задачи с погрешностью восстановления.

8. Развиты методы и средства аэроакустической диагностики на основе применения алгоритмов размещения датчиков и восстановления акустического или газодинамических полей на срезе сопла турбомашин.

9. Результаты работы реализованы путем внедрения комплексной системы аэроакустической картографии как совокупности акустического,

газодинамического и волоконно-оптического методов контроля и диагностики, а также отдельных программно-аппаратных средств, использующих преимущества волоконно-оптических датчиков точечного, квазираспределенного и распределенного типов в системе контроля, для неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток турбомашин на основе аэроакустической картографии применяемой в промышленности, в научных исследованиях и учебном процессе.

Достоверность результатов

Обоснованность и достоверность результатов определяются: использованием известных положений фундаментальных наук, корректностью используемых математических моделей и их адекватностью реальным физическим процессам.

Результаты диссертационного исследования изложены в одной монографии, 41-й работе в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, при этом получено 13 патентов РФ, Кроме того автор имеет семь единоличных публикаций.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В автореферате отсутствует информация, как будет изменяться масштаб турбулентности при внесении дефектов в проточную часть турбомашин?

2. Нет информации о влиянии псевдозвука на акустические измерения?

Заключение

Считаю, что диссертация Виноградова Василия Юрьевича, посвященная решению важной научно-технической проблемы – улучшения метрологических и технико-экономических характеристик, а также расширения функциональных возможностей систем неразрушающего контроля состояния рабочих лопаток проточной части турбомашин при ее холодном пуске, основанных на развитии теории и техники аэроакустической

картографии по окружности и сечению среза сопла газо-воздушного тракта турбомашин и ее реализация с использованием акустоэлектронных и волоконно-оптических методов измерений, а также комплексного подхода, дополнительно учитывающего газодинамические характеристики турбомашин, позволяющих определить местонахождение дефектной лопатки и тип дефекта и представляет целостное законченное исследование, обладающее несомненной научной новизной, теоретической и практической ценностью, и соответствует критериям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к научно-квалификационным работам, представляемым на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор - **Виноградов Василий Юрьевич** заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Доктор технических наук,

Главный конструктор ООО «УК «КЭР-Холдинг»

Новиков Е.А.

29.10.2019

Контактная информация

Новиков Евгений Александрович, доктор технических наук, главный конструктор

Адрес:

ООО «УК «КЭР-Холдинг», 420036, ул. Восход, 45

E-mail: novikovea@ker-holding.ru

Тел: +7 (963) 157 06 10

Подпись Новикова Е.А. заверено



Ведущий специалист по кадрам
ООО «УК «КЭР-Холдинг»

Е.А. Новиков