



Оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь для систем автоматизированного контроля геометрических параметров поверхности лопаток газотурбинных двигателей ¹

- | | |
|-------------------------|---|
| А. Б. Прокофьев | доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В. П. Лукачёва, первый проректор – проректор по научно-исследовательской работе; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара; prokofev.ab@ssau.ru |
| С. А. Данилин | кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара; danilin.sa@ssau.ru |
| А. Ж. Чернявский | кандидат технических наук, инженер кафедры радиоэлектронных систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара; arkadiy.chernyavskiy@vaz.ru |
| А. И. Данилин | доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара; danilin.ai@ssau.ru |

Лопатки ГТД представляют собой изделия со сложной пространственной конфигурацией, требующей высокой точности изготовления, которая в свою очередь обусловлена сложным совокупным балансом между аэродинамическими, прочностными характеристиками и производственно-технологическими требованиями. В процессе производства лопаток контролю подлежит, помимо других, профиль поверхности в различных сечениях пера лопатки. Отклонения формы теоретического сечения и угла установки профиля приводят на практике к отклонению частоты собственных колебаний лопаток от расчётных значений. Кратко описано измерительное устройство разработки Самарского университета: оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь (ОЭДФП), которое предназначено для бесконтактного определения геометрических параметров – профиля и кривизны лопаток ГТД. В основе реализации ОЭДФП лежит метод определения параметров геометрии поверхности лопатки ГТД, заключающийся в измерении временных отклонений положения максимума информационного сигнала от опорного и позволяющий повысить точность определения профиля и кривизны пера лопатки при сохранении быстродействия на уровне лучших образцов оптоэлектронных преобразователей сложно-профильных поверхностей.

Ключевые слова: оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь; дискретно-фазовый метод; профиль и кривизна пера лопатки ГТД

¹Статья опубликована по материалам диссертационной работы кандидата технических наук С. А. Данилина «Оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь локальных параметров формы криволинейных отражающих поверхностей» (Самара, 2022 г.)

Цитирование: Прокофьев, А. Б. Оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь для систем автоматизированного контроля геометрических параметров поверхности лопаток газотурбинных двигателей / А. Б. Прокофьев, С. А. Данилин, А. Ж. Чернявский, А. И. Данилин // Динамика и виброакустика. – 2024. – Т. 10, №3. – С. 99-110. DOI: 10.18287/2409-4579-2024-10-3-99-110

Введение

Среди задач измерения и контроля геометрических размеров разнообразных изделий машиностроения особое место занимает определение параметров формы криволинейных поверхностей трёхмерных объектов [1, 2]. В качестве примера таких изделий можно привести цилиндрические поверхности различных роторных машин, кривошипно-шатунные и внутренние поверхности цилиндров двигателей внутреннего сгорания, дорожки качения шариковых подшипников, сложные криволинейные поверхности лопаток турбоагрегатов и многие другие.

В процессе производства лопаток контролю подлежит, помимо других, профиль поверхности в различных сечениях пера лопатки. Отклонения формы теоретического сечения и угла установки профиля приводят на практике к отклонению частоты собственных колебаний лопаток, их динамических вибрационных характеристик от расчётных значений. Кроме этого, необходимо обеспечить не только соответствие профиля лопатки теоретическому чертежу, но и требуемую расстройку частоты собственных колебаний лопаток в диске турбоагрегата.

В настоящее время высокоточный контроль формы криволинейных поверхностей среднеразмерных деталей производится, в основном, дорогостоящими координатно-измерительными машинами (КИМ). КИМ реализует контактный метод измерений и не позволяет производить 100% контроль геометрии сложнопрофильных изделий, т.к. время измерения одного изделия может достигать до 1 часа. Таким образом, контактные методы измерений, реализованные в щуповых системах оборудования с ЧПУ, а также универсальных и специализированных лабораторных средствах измерений, имеют относительно низкую производительность.

Бесконтактное определение геометрических параметров поверхностей сложно-профилированных объектов базируется, в основном, на оптоэлектронных методах, которые в свою очередь реализуются с помощью сложных оптико-механических систем и многоэлементных фотоприёмников [3, 4]. Следует отметить сложность их настройки и юстировки, а также в большинстве своём необходимость лабораторных (не цеховых) условий эксплуатации. С другой стороны, потенциальная точность и возможность практической автоматизации процессов измерения, заложенные в оптоэлектронных бесконтактных методах, являются основой и предпосылками для разработки новых быстродействующих бесконтактных преобразователей для контроля параметров формы криволинейных поверхностей. Расширение областей применения бесконтактных методов обусловлено также требованием дальнейшего роста автоматизации производства с внедрением CALS-технологий.

Кроме этого, в связи с возрастанием требований к надёжности и точности контроля параметров криволинейных поверхностей возникает необходимость в дополнительной информации о параметрах их геометрии, таких как кривизна поверхности, определение которой позволяет расширить функциональные возможности преобразователя и повысить достоверность измерений.

Вопросам теоретического обоснования методов и разработки устройств контроля и измерения параметров сложнопрофильных поверхностей различных технических объектов посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных авторов. Однако, несмотря на проработанность темы в известных работах, исследования, связанные с разработкой оптоэлектронных преобразователей геометрии поверхностей деталей, проводились в основном в

направлении совершенствования теории и методов светотеневых [5], интерферометрических [6], триангуляционных измерений в сочетании с многоэлементными развёртывающими фотоприёмниками [3,4]. Общим недостатком всех упомянутых систем является наличие в их составе сложно-юстируемых линзовых систем, работающих в комплексе со сложным программным обеспечением и требующих особых условий эксплуатации. Следует также отметить, что в основе этих систем лежит амплитудный метод обработки и оценки параметров информационных сигналов фотоприёмников.

В статье рассмотрен новый метод определения параметров сложнопрофильных поверхностей, основанный на теории дискретно-фазовых преобразователей (ДФП) [7, 8]. Использование предложенного метода будет способствовать дальнейшей разработке автоматизированных оптоэлектронных дискретно-фазовых преобразователей параметров формы криволинейных поверхностей с расширенными функциональными возможностями, ускорению процесса контроля и использованию его результатов для систем управления на различных стадиях изготовления и технологических испытаниях сложнопрофильных объектов.

1 Современные методы и средства определения геометрических параметров криволинейных поверхностей

Для конкретизации дальнейшего изложения предлагается рассмотреть разработку оптоэлектронного дискретно-фазового преобразователя (ОЭДФП) на примере определения локальных параметров криволинейной боковой поверхности лопаток турбоагрегатов. Такой подход аргументирован тем, что с одной стороны боковые поверхности лопаток представляют уникальный образец сложной пространственно изменяющейся формы, а с другой стороны существуют вполне определённые характеристики, определяющие точность их изготовления.

Среди конструктивных реализаций лопаток различных турбоагрегатов необходимо отдать предпочтение лопаткам газотурбинных двигателей (ГТД). Это объясняется различным назначением газотурбинных двигателей (самолётные, вертолётные, для морских судов и для техники военного назначения), когда ГТД изготавливаются в вариантах малой, средней и большой мощности, поэтому лопатки ГТД отличаются большим разнообразием криволинейных поверхностей.

Изготовление лопаток – это непрерывный процесс, в котором каждая из реализуемых технологических процедур формирования формы поверхности лопатки заканчивается контролем её соответствия параметрам технической документации. Своевременное выявление допущенных в производстве отклонений от регламентируемых допусков на различные элементы пера лопатки позволяет повысить качество и надёжность турбоагрегата в целом. Поэтому при производстве лопаток выполняется 100% контроль параметров формы элементов пера лопатки (поверхностей спинки и корыта, входных и выходных кромок) и её хвостовика.

Анализ возможностей методов и средств определения геометрии поверхности лопаток ГТД позволил выявить среди них такие, которые соответствуют требованиям, предъявляемым к подобным преобразователям со стороны производственно-технологического процесса. Поэтому устройства, выполняющие подобные контрольные функции, должны соответствовать следующим требованиям:

1. Использование в цеховых условиях при сохранении высокой стабильности измерений, а именно: устойчивость преобразователя к естественным колебаниям освещённости, к изменению пыле-воздушной атмосферы, различным оптическим и электромагнитным помехам;
2. Использование средств контроля геометрии лопаток на всех стадиях технологического цикла производства лопаток;
3. Возможность работы в широком диапазоне шероховатостей поверхностей лопаток (R_a от 0,3 мкм до 3,0 мкм);

4. Многопараметровость метода, заключающаяся в контроле всех параметров формы поверхности лопатки в соответствии с отраслевым стандартом;

5. Нежелательность использования матирующих аэрозолей и порошков при контроле формы поверхности лопатки;

6. Возможность использования в автоматизированном контроле и быстрая перенастройка на разные типоразмеры лопаток;

7. Возможность получения выходной информации в цифровом виде, наличие возможностей архивирования, хранения и отображения полученной информации, создания баз данных по всем типам поверхностей контролируемых лопаток, паспортизация параметров форм поверхностей лопаток, автоматическое формирование протокола измерений на ЭВМ;

8. Простота инсталляции и использования программного обеспечения, не требующая специальных знаний и высококвалифицированного персонала;

9. Возможность восстановления трёхмерной модели (3D) поверхности пера лопатки по экспериментальным данным;

10. Возможность подключения к локальной корпоративной компьютерной сети предприятия для оперативной передачи информации с целью корректировки технологического процесса;

11. Приемлемые технико-экономические показатели относительно систем аналогичного класса.

В результате проведённого обзора методов определения и контроля геометрических параметров поверхности лопаток ГТД, а также реализации требований со стороны производственно-технологической инфраструктуры было выявлено, что разработка бесконтактных методов контроля является наиболее перспективной. Среди бесконтактных методов были проанализированы наиболее подходящие для решения задач контроля параметров формы поверхности лопаток ГТД.

В результате анализа выяснилось, что по таким критериям как стоимость реализации, сложность алгоритмов обработки исходной информации и необходимость привлечения высококвалифицированного персонала, функциональные возможности, быстродействие, точность, производительность, возможность цехового применения, можно выгодно выделить среди прочих оптоэлектронный дискретно-фазовый метод (ОЭДФМ).

Кроме этого ОЭДФМ:

- позволяет оперативно проводить качественное сравнение с эталоном;
- позволяет реализовать многопараметровость контроля, позволяя одновременно определять профиль поверхности в требуемых сечениях и кривизну поверхности лопатки;
- позволяет представлять результаты контроля геометрии поверхности лопаток в форме, общепринятой для разработчиков лопаток ГТД;
- не требует сложных математических вычислений и наличия комплексной структурной подсветки, как стереометрический метод;
- не требует точного двумерного сканирования, как триангуляционный метод;
- позволяет проводить двусторонний контроль, т.е. не требует переворачивания лопатки;
- позволяет контролировать широкую номенклатуру лопаток различной формы и размеров.

1.1 Оптоэлектронный дискретно-фазовый метод

Дискретно-фазовый метод (ДФМ) в классическом варианте [9] позволяет определять информационные параметры динамических перемещений контролируемых объектов, находящихся в различных фазах своего движения, трансформируя их во временную область. Для

этого используются два неподвижных импульсных первичных преобразователя. Первый преобразователь выполняет функции опорного, генерирующего электрический сигнал, соответствующий определённой заранее известной фазе движения объекта. Второй преобразователь бесконтактно взаимодействует с поверхностью контролируемого объекта и генерирует импульсный сигнал, отличный во времени от опорного и соответствующий реальному положению поверхности контролируемого объекта. К настоящему времени ДФМ достаточно глубоко и всесторонне разработан и используется для бесконтактного определения параметров колебаний лопаток ГТД, паровых и газовых турбин [10, 11].

В 2016–2018 гг. в процессе выполнения хоздоговорных научно-исследовательских работ по созданию и внедрению систем контроля профиля лопаток турбоагрегатов для ПАО «ОДК-Кузнецов» были предложены новые технические решения по реализации способов и устройств определения угловых положений касательных в точках контролируемых профилей лопаток, защищённые двумя патентами на изобретения Российской Федерации [7, 8].

Развитие предложенного и защищённого патентами способа заключается в том, что классический ДФМ обладает признаком обратимости, т.е. можно зафиксировать контролируемую поверхность в статическом положении, а в движение приводить оптическую насадку (ОН) оптоэлектронного преобразователя. На рисунке 1 ОН оптоэлектронного преобразователя (ОЭП) при своём вращении сканирует световым потоком поверхность объекта и одновременно принимает отражённый от контролируемой поверхности световой поток. Максимум отражённого светового потока, преобразованного фотоприёмником в электрический сигнал, соответствует моменту времени, когда ось диаграммы направленности (ДН) излучённого светового потока перпендикулярна исследуемой поверхности. Таким образом, измеряя временной интервал между максимумом информационного сигнала и максимумом опорного импульсного сигнала, соответствующего нулевому углу поворота оптической насадки ОЭП, можно определять угловое положение касательной, характеризующей её локальную кривизну в конкретной точке на криволинейной поверхности.

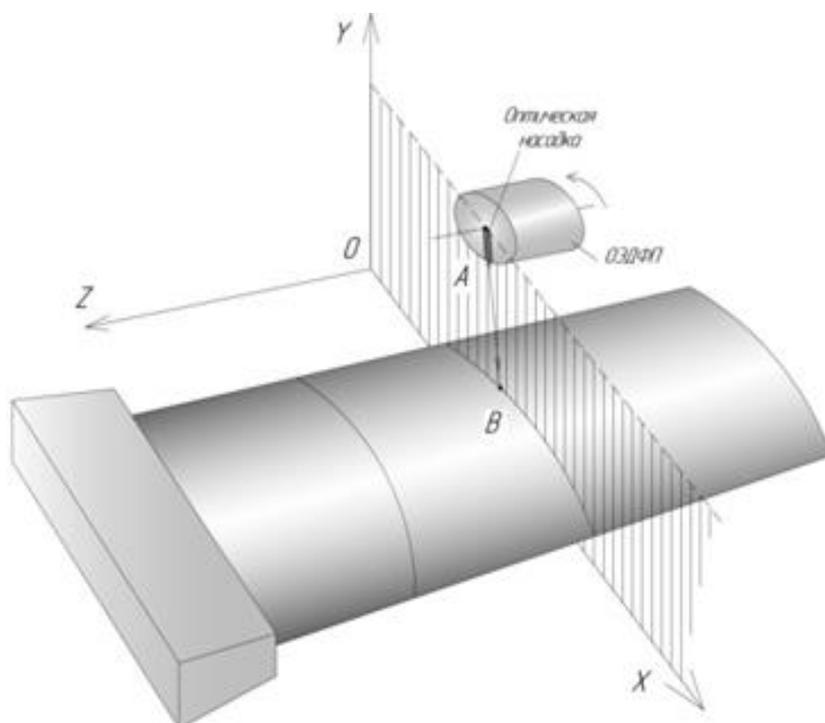


Рисунок 1 – Пространственное представление взаимодействия зондирующего потока вращающейся ОН ОЭП с поверхностью лопатки ГТД

2 Определение базовой структурной схемы оптоэлектронного дискретно-фазового преобразователя (ОЭДФП) для контроля параметров формы криволинейных отражающих поверхностей

Опираясь на приведённый материал по реализации оптоэлектронного дискретно-фазового метода в применении к определению параметров формы 3D поверхностей лопаток ГТД, необходимо определиться с основными функциональными узлами преобразователя, реализующего этот метод. Для этого операции метода можно представить в следующей последовательности:

1. Формирование потока излучения в диапазоне длин волн с наименьшим влиянием мешающих факторов.

2. Канализирование потока излучения к объекту контроля посредством светопроводящей системы с оптической насадкой в виде моносветовода и обеспечение направления его излучения в сторону контролируемой поверхности.

3. Обеспечение оптической насадкой частичного приёма отраженного от контролируемой поверхности потока излучения и направление его светопроводящей системой на фотоприёмник.

4. Преобразование континуального электрического сигнала фотоприёмника в цифровой с помощью АЦП.

5. Выделение в полученном цифровом сигнале момента времени, соответствующего максимальному значению сигнала.

6. Обеспечение стабилизации частоты вращения светопроводящей системы с оптической насадкой.

7. Установка опорной неподвижной метки относительно вращающейся светопроводящей системы с оптической насадкой.

8. Обеспечение с помощью датчика опорной метки её регистрации в виде электрического импульса с частотой один раз за оборот вращающейся светопроводящей системы с оптической насадкой.

9. Подключение выходов датчика опорной метки и блока выделения максимального значения сигнала фотоприёмника соответственно к первому и второму входам блока измерения временных интервалов.

10. Передача зарегистрированного в блоке измерения временных интервалов информационного сигнала в виде цифрового кода временного интервала между импульсом опорной метки и временным моментом максимального значения импульса фотоприёмника на микроконтроллер для последующей обработки полученной информации.

Структурная схема устройства представлена на рисунке 2.

Здесь датчик опорной метки при взаимодействии с опорной меткой формирует опорный импульс за один оборот вращения оптической насадки. Светопроводящая система и оптическая насадка канализируют световой поток ИК-излучения от источника до контролируемой поверхности лопатки и отражённого светового потока к фотоприёмнику. Фотоприёмник преобразует отражённый от поверхности лопатки световой поток в информационный электрический сигнал.

В блоке определения временных интервалов измеряется временной интервал между опорной меткой и найденным максимумом информационного сигнала. Далее микроконтроллер вычисляет относительные значения указанных временных интервалов, пронормировав их к измеренному значению периода вращения насадки. Результаты измерений микроконтроллера передаются в ПК. После чего ПК выполняет вычисление начальных и конечных угловых положений оптической насадки, координат точек отражения на поверхности лопатки, расто-

яния между ППК ОН и поверхностью лопатки, необходимые для определения профиля и кривизны лопаток ГТД. Связь микроконтроллера ОЭДФП с ПК осуществляется по интерфейсу USB.

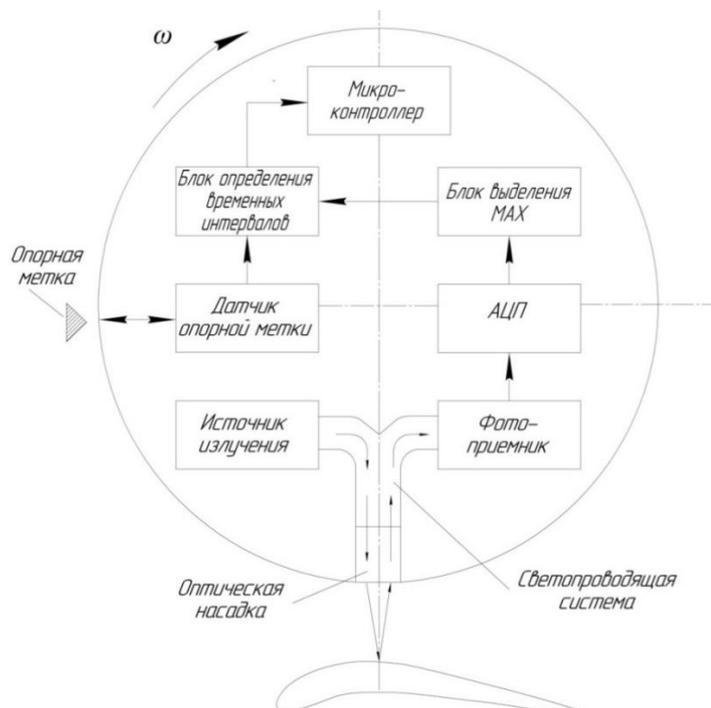


Рисунок 2 – Базовая структурная схема ОЭДФП для контроля параметров формы поверхности лопаток ГТД

3 Конструктивное исполнение ОЭДФП

На основе базовой структурной схемы разработаны функциональная и принципиальная электрические схемы ОЭДФП, которые позволили реализовать электронный модуль преобразователя. С целью улучшения массо-габаритных показателей устройства, возможности автоматизации его монтажа и снижения стоимости электронный модуль разработан с использованием компонентов поверхностного монтажа. Фотография экспериментального ОЭДФП представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Конструктивное исполнение ОЭДФП для экспериментальных лабораторных исследований

Схемотехническая и конструкторская реализация ОЭДФП локальных параметров формы криволинейных отражающих поверхностей лопаток ГТД позволяет: получить аналоговые информационные сигналы, выполнить их аналого-цифровое преобразование в привязке к конкретному сечению пера лопатки, сформировать и подготовить для передачи цифровые информационные сигналы на ПК, где в соответствии с разработанным алгоритмом определяются требуемые параметры геометрии криволинейной поверхности лопатки.

С целью одновременного определения профиля и кривизны во всех требуемых сечениях пера лопатки прорабатываются варианты схемотехнических и конструктивных изменений ОЭДФП. В одном из рассматриваемых вариантов планируется на одном валу устанавливать требуемое количество электронных модулей, распределённых между собой в соответствии с контролируруемыми сечениями пера лопатки. В качестве примера такой вариант исполнения преобразователя в двух видах приведён на рисунке 4. Здесь представлены шесть электронных модулей, приводимых во вращение с помощью электродвигателя переменного тока. Перемещение вращающихся модулей в поперечном направлении, в плоскостях заданных сечений, реализуется путём использования шагового двигателя.

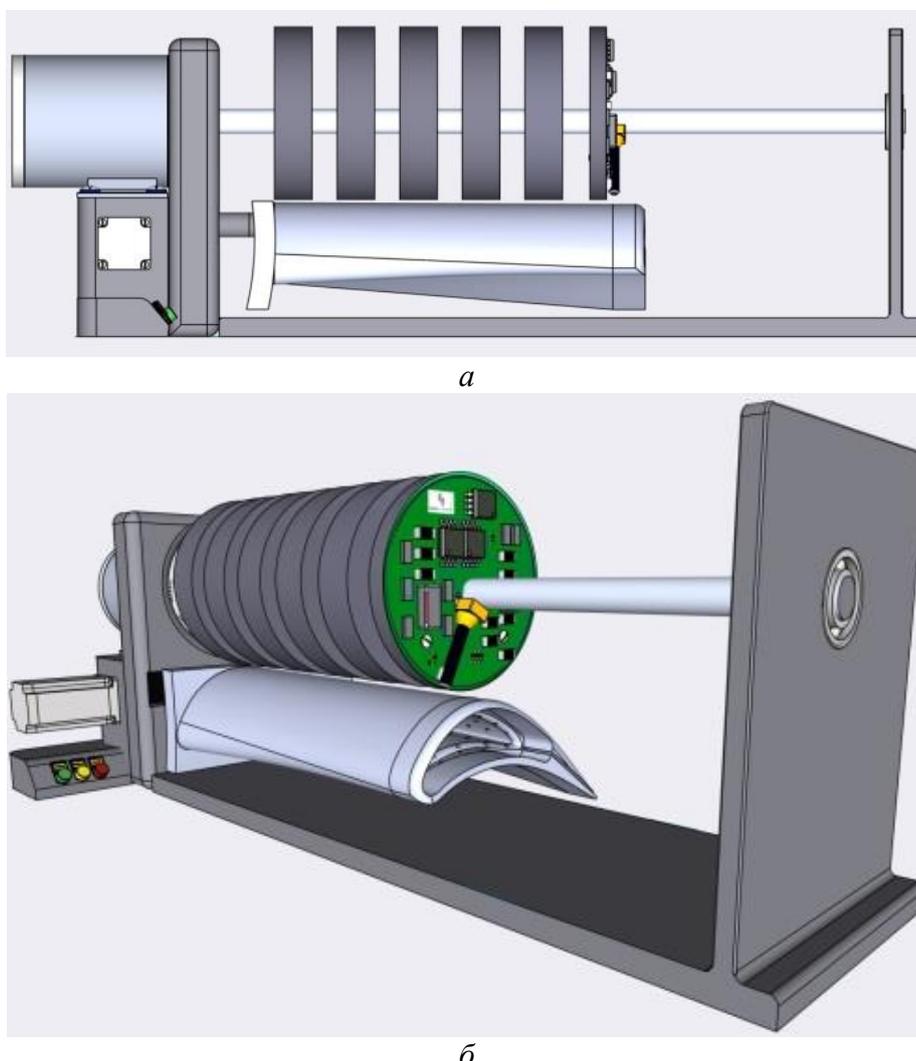


Рисунок 4 – Эскизы устройства для одновременного определения параметров геометрии пера лопатки в шести сечениях,
а – вид устройства спереди; *б* – вид устройства в изометрии

3.1 Основные технические характеристики ОЭДФП

Основные технические характеристики разработанного ОЭДФП и реализованного на доступной элементной базе представлены в таблице.

Таблица – Основные технические характеристики ОЭДФП

Характеристика	Значение
Размеры контролируемых лопаток, длина / ширина, мм	1500 / 150
Количество одновременно контролируемых сечений пера лопатки (не менее, шт)	6
Минимальный шаг измерения профиля и кривизны, мм	0,1
Количество измерений каждой точки профиля	30
Приведенная погрешность определения профиля поверхности, %, не более	0,2
Приведенная погрешность определения кривизны поверхности, %, не более	0,2
Диапазон рабочих температур преобразователя, °С	10–50
Относительная влажность окружающего воздуха, %	30–80
Размеры ИПКЛ для контроля 1 сечения, длина / диаметр, мм	75 / 94
Масса ИПКЛ, кг	0,3
Сетевое трехфазное напряжение, В	~ 220 ± 10 %
Два аккумуляторных источника питания, В	9
Потребляемая мощность, не более, Вт	0,3

Заключение

Сравнительный анализ возможностей известных реализаций различных устройств аналогичного назначения показывает, что разработанный ОЭДФП не только выгодно отличается по технико-экономическим показателям, но и имеет преимущества:

- по условиям использования как в лабораторных, так и в цеховых условиях при сохранении высокой стабильности измерений;
- по использованию на всех стадиях контроля геометрии лопаток в технологическом цикле их производства с учётом широкого диапазона шероховатостей поверхностей лопаток;
- в связи с расширенными функциональными возможностями, позволяющими определять не только профиль криволинейной поверхности, но и её кривизну;
- по возможности использования в автоматизированном контроле без сложной перенастройки на разные типоразмеры лопаток;
- по возможностям построения трёхмерной модели поверхности пера лопатки и её паспортизации на основании проведённых измерений и полученных экспериментальных данных о геометрии пера лопатки.

Список использованных источников

1. Сарвин, А. А. Оптические и оптоэлектронные методы бесконтактных измерений геометрических параметров: диссертация ... доктора технических наук: защищена 30.07.02: утверждена 11.10.02 / Сарвин Анатолий Александрович. – Санкт-Петербург, 2002. – 298 с.
2. Фесько, Ю. А. Разработка и исследование оптико-электронных методов определения трёхмерной формы объектов: диссертация ... кандидата технических наук: защищена 06.05.14: утверждена 17.11.14 / Фесько Юрий Александрович. – Новосибирск, 2014. – 167 с.

3. Патент 2256878 Российская Федерация, МПК G01B 11/24, 21/20 (2000.01). Способ измерения формы объекта и устройство для его осуществления: 2004104116/28: заявлено 13.02.2004: опубликовано 20.07.2005 / Поклад В. А., Степняков В. П., Ахметдинов Р. М., Ганеев Д. А., Игумнов И. В. ; заявитель и патентообладатель ФГУП "ММПШ "САЛЮТ". – 10 с.

4. Патент 2263879 Российская Федерация, МПК G01B 11/24, 21/20. Способ контроля профиля изделия и устройство для его осуществления: 2003131899/28: заявлено 22.10.2003: опубликовано 10.11.2005 / Галиулин Р. М., Галиулин Р. М., Бакиров Ж. М., Богданов Д. Р., Воронцов А. В., Тумашинов А. В., Лисьих В. И. ; заявитель и патентообладатель Галиулин Р. М. – 2 с.

5. Машиностроение. Справочник. Неразрушающий контроль: Под ред. В. В. Клюева. Т. 6 Кн. 2: Оптический контроль./ В. Н. Филинов, А. А. Кеткович, М. В. Филиппов. – Москва : Машиностроение, 2004. – 832 с.

6. Сысоев, Е. В. Измерение микро- и нанорельефа поверхности методами низкокogerентной интерферометрии: диссертация ... кандидата технических наук: защищена: 11.06.10: утверждена 15.10.10 / Сысоев Евгений Владимирович. – Новосибирск, 2010. – 136 с.

7. Патент 2548939 Российская Федерация, МПК G01B 21/22 (2006.01). Способ определения угловых положений поверхности объекта и устройство для его осуществления: [2013132301/28](#): заявлено 11.07.2013: опубликовано 20.04.2015 / Данилин А. И., Данилин С. А., Теряева О. В., Грецов А. А. ; заявитель и патентообладатель Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. – 10 с.

8. Патент 2555505 Российская Федерация, МПК G01B 11/26 (2006.01). Устройство определения угловых положений поверхности объекта: 2012128235/28: заявлено 04.07.2012: опубликовано 10.07.2015/ Данилин А. И., Данилин С. А., Теряева О. В. ; заявитель и патентообладатель Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва. – 10 с.

9. Данилин, А. И. Критерии дискретно-фазового контроля рабочего состояния лопаток и их реализуемость в системах автоматического управления турбоагрегатами / А. И. Данилин, А. Ж. Чернявский // Вестник Самар. гос. аэрокосм. ун-та им. акад. С. П. Королёва. – Самара. – 2009. №1 (17). – С. 107-115.

10. Патент 9810090 США, МПК H01L 21/00 (2006.01). Method for determining the oscillation parameters of turbo-machine blades and a device for putting the same into practice : Priority date Feb. 3, 2015 : Date of patent Nov. 7, 2017. / Danilin A. I., Chernyavskij A. Zh., Danilin S. A. et al. ; Applicant and Assignee: Samara State Aerospace University.

11. Патент 2584723 Российская Федерация, МПК G01H 11/06 (2006.01). Способ определения параметров колебаний лопаток вращающегося колеса турбомашин и устройство для его осуществления: 2015103552/28: заявлено 03.02.2015 : опубликовано 20.05.2016 / Данилин А. И., Чернявский А. Ж., Данилин С. А., Грецов А. А. ; заявитель и патентообладатель Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва. – 9 с.

Optoelectronic discrete-phase converter for automated control systems of geometric parameters of the surface of gas turbine engine blades

- | | |
|----------------------------|--|
| A. B. Prokof'ev | Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Theory of Aircraft Engines named after V. P. Lukachev, First Vice-Rector – Vice-Rector for Research;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
prokofev.ab@ssau.ru |
| S. A. Danilin | Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Radioelectronic Systems;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
danilin.sa@ssau.ru |
| A. Zh. Chernyavskiy | Candidate of Science (Engineering), Engineer of the Department of Radioelectronic Systems;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
arkadiy.chernyavskiy@vaz.ru |
| A. I. Danilin | Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Radioelectronic Systems;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
danilin.ai@ssau.ru |

Gas turbine engine blades are products with a complex spatial configuration that requires high manufacturing precision, which in turn is determined by the complex overall balance between aerodynamic, strength characteristics and production and technological requirements. During the production of blades, the surface profile in various sections of the blade airfoil is subject to control, among others. Deviations in the shape of the theoretical section and the installation angle of the profile lead in practice to a deviation of the natural vibration frequency of the blades from the calculated values. Increasing the accuracy of geometry control in the technological process of manufacturing gas turbine engine blades is in demand and important.

A measuring device developed by Samara University is briefly described: an optoelectronic discrete-phase converter (OEDPC), which is designed for non-contact determination of geometric parameters – the profile and curvature of gas turbine engine blades. The implementation of the OEDPC is based on a method for determining the parameters of the surface geometry of a gas turbine engine blade, which consists in measuring the deviations in time of the position of the maximum information signal from the reference one and makes it possible to increase the accuracy of determining the profile and curvature of the blade airfoil while maintaining performance at the level of the best examples of optoelectronic converters of a complex-profile surfaces.

Keywords: *optoelectronic discrete-phase converter; discrete-phase method; profile and curvature of gas turbine engine blades*

Citation: Prokof'ev, A. B., Danilin, S. A., Chernyavskiy, A. Zh. and Danilin, A. I. (2024), "Optoelectronic discrete-phase converter for automated control systems of geometric parameters of the surface of gas turbine engine blades", *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*, vol. 10, no. 3, pp. 99-110. DOI: 10.18287/2409-4579-2024-10-3-99-110. (In Russian; abstract in English).

References

1. Sarvin, A. A. (2002), "Optical and optoelectronic methods for non-contact measurements of geometric parameters", Ph.D. Thesis, St. Petersburg, 298 p. (In Russian)
2. Fesko, Yu. A. (2014), "Development and research of optical-electronic methods for determining the three-dimensional shape of objects", Ph.D. Thesis, Novosibirsk, 167 p. (In Russian)
3. Poklad, V., Stepanyakov, V., Ahmetdinov, R., Ganeev, D. and Igumnov, I. «Salyut» Production Complex of UEC JSC (2005), *Sposob izmereniya formy ob"ekta i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method for measuring the shape of an object and a device for its implementation], Russia, Pat. 2256878. (In Russian)
4. Galiulin R. (2005), *Sposob kontrolya profilya izdeliya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method for monitoring the profile of a product and a device for its implementation], Russia, Pat. 2263879. (In Russian)
5. Klyuev, V. V., Filinov, V. N., Ketkovich, A. A. and Filippov, M. V. (2004), *Mashinostroenie. Spravochnik. Nerazrushayushchiy kontrol'* [Mechanical engineering. Directory. Non-destructive testing], Nauka, Moscow, Russia. (In Russian)
6. Sysoev, E. V. (2010), "Measuring the micro- and nanorelief of a surface using low-coherence interferometry methods", Ph.D. Thesis, Novosibirsk, 136 p. (In Russian)
7. Danilin, A., Danilin, S., Teryaeva, O. and Greckov, A. A. Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (2015), *Sposob opredeleniya uglovykh polozheniy poverhnosti ob"ekta i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method for determining the angular positions of an object's surface and a device for its implementation], Russia, Pat. 2548939. (In Russian)
8. Danilin, A., Danilin, S. and Teryaeva, O. V. Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (2015), *Ustroystvo opredeleniya uglovykh polozheniy poverhnosti ob"ekta* [Device for determining the angular positions of an object's surface], Russia, Pat. 2555505. (In Russian)
9. Danilin, A. I. and Chernyavsky, A. Zh. (2009), "Criteria for discrete-phase control of the working state of blades and their feasibility in automatic control systems for turbine units", *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*, vol. 1, no 17, pp. 107-115. (In Russian)
10. Danilin, A., Chernyavskij, A. and Danilin, S. Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (2017), *Method for determining the oscillation parameters of turbo-machine blades and a device for putting the same into practice*, US Patent 9810090.
11. Danilin A., Chernyavskiy A., Danilin S. and Greckov A. Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev (2016), *Sposob opredeleniya parametrov kolebaniy lopatok vrashchayushchegosya koleasa turbomashiny i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method for determining the vibration parameters of the blades of a rotating wheel of a turbomachine and a device for its implementation], Russia, Pat. 2584723. (In Russian)