

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК

Юдин В.Т.¹

Научный руководитель – доктор технических наук Федоров А.В.¹

¹Университет ИТМО

Введение

Контроль геометрических параметров сложнопрофильных изделий в процессе производства является критически важной задачей современной промышленности, так как малые отклонения формы детали способны привести к снижению эффективности, ускоренному износу и риску аварийных ситуаций [1].

Автоматизация данного процесса позволяет решать ключевые задачи – ускорение производства, увеличение производственного потенциала и исключение ошибок оператора [2].

Целью исследования являлась сравнительная оценка чувствительности и метрологических характеристик трех бесконтактных измерительных систем – 3D-сканера Creality Raptor Pro, 2D-сканера Riftek RF627 и разработанного лабораторного стенда на основе лазерной триангуляции – при измерении толщины профиля турбинной лопатки в контрольных сечениях.

В ходе работы были решены задачи по проведению экспериментального сканирования на трех типах приборов, обработке данных, анализу относительных отклонений и оценке чувствительности каждого метода. Дополнительно была выполнена апробация лабораторного стенда, включающая исследование влияния расстояния, угла триангуляции и скорости перемещения на точность контроля.

Основная часть

Для решения поставленной задачи были выбраны бесконтактные методы измерения, поскольку они позволяют исключить влияние механического контакта, повысить скорость контроля и обеспечить возможность интеграции в автоматизированные производственные линии. В исследование включены три типа систем: 3D-сканер Creality Raptor Pro, 2D-сканер Riftek RF627 и разработанный лабораторный стенд на основе лазерной триангуляции. Такое сочетание позволяет объективно сравнить существующие средства с разработанным прототипом и определить оптимальную конфигурацию для задач контроля геометрии турбинной лопатки.

Важной частью работы стала экспериментальная отработка различных оптических схем, направленных на снижение влияния отражающих поверхностей. Путем изменения угла наклона камеры, положения лазерной линии и расстояния до объекта удалось определить конфигурации, обеспечивающие устойчивое формирование профиля бликов, паразитных отражений и теней [3]. Это позволило получить профили даже на сложных участках лопатки без потери данных.

Измерения проводились в заранее определенных сечениях А1–А6, что обеспечило сопоставимость результатов между тремя системами. Такой подход позволил оценить чувствительность приборов к локальным изменениям толщины и выявить различия в точности при работе с реальным объектом. Для повышения качества данных применялись медианная и гауссова фильтрации, что позволило снизить влияние шумов и выбросов, характерных для лазерных систем [4].

Сравнительный анализ показал, что разработанный лабораторный стенд обеспечивает наилучшую чувствительность и стабильность измерений благодаря оптимизированной конфигурации триангуляции и возможности адаптации под конкретный объект. В то время как серийные приборы демонстрируют хорошие результаты, их точность ограничивается конструктивными особенностями и невозможностью гибкой настройки оптической схемы. Таким образом, лабораторный стенд подтвердил свою эффективность как инструмент для высокоточного контроля геометрии сложнопрофильных изделий.

Выводы

В ходе исследования удалось экспериментально подтвердить работоспособность разработанного лабораторного стенда. «Лазер + камера технического зрения» на основе лазерной триангуляции, который продемонстрировал наилучшую чувствительность среди всех протестированных систем: относительное отклонение составило порядка 2–3%.

Возможность регулировки угла триангуляции, расстояния до объекта и положения оптических элементов стала ключевым фактором повышения точности. Таким образом, стенд подтвердил свою эффективность как универсальная платформа для высокоточного геометрического контроля и дальнейшей интеграции в автоматизированные системы технического зрения.

Литература

1. Самохвалов Н. Ю., Леванова М. Д., Попов Д. А. Разработка методики контроля системы охлаждения лопаток турбин ГТД // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2018. – №. 54. – С. 41-56.
2. Барышников Н. В., Денисов Д.Г., Животовский И.В., Менделеев В.Я. Экспериментальный анализ погрешности измерения триангуляционного метода в задачах технологического контроля профиля поверхности сложной формы // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №. 9 (21). – С. 34.
3. Коняшов В.В., Сергеев А.С., Федоров А.В., Колганов О.А. Исследование применимости метода оптической триангуляции для оценки геометрических параметров и чистоты поверхности изделий сложной формы // Оптические методы исследования потоков : Труды XVII Международной научно-технической конференции, Москва, 26–30 июня 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С. 196-201.
4. Филиппов М. В., Ермилова О. С. Быстрый метод билатеральной фильтрации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2017. – №. 20. – С. 29-36.