

Оценка погрешности величины хорды при видеоэндоскопии рабочих лопаток паровых турбин большой единичной мощности

Л. С. Родикова, В. В. Коротаев, А. Н. Тимофеев

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

В работе анализируются возможности создания системы видеоэндоскопирования, предназначенной для контроля дефектов лопаток паровых турбин большой единичной мощности. Видеосистемы для бесконтактного контроля нашли эффективное применение для контроля износа лопаточного аппарата без их вскрытия паровых турбин. Данный тип систем продолжает развиваться в направлении совершенствования аппаратных и программных средств видеоэндоскопии. Применение синхронизации подсветки при формировании и обработке видеоизображений позволяет оценивать величину дефектов на кромках рабочих лопаток.

Ключевые слова: Система видеоэндоскопирования, Контроль геометрических параметров, Хорда рабочей лопатки, Турбины паровые, Цифровая обработка изображений, Оптимизация подсветки.

Цитирование: Родикова, Л. С. Оценка погрешности величины хорды при видеоэндоскопии рабочих лопаток паровых турбин большой единичной мощности / Л. С. Родикова, В. В. Коротаев, А. Н. Тимофеев// HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 417–420.

Рабочие лопатки (РЛ) паровой турбины наиболее уязвимый элемент конструкции, так как они повреждаются в процессе эксплуатации турбины вследствие каплеударных нагрузок и протекающих эрозийных процессов [1]. Контроль состояния РЛ, как правило производится при разборе турбины. Однако разбор турбины с целью диагностики её состояния влечет за собой финансовые потери, связанные с выводом турбины из эксплуатации [2].

Применение оптико-электронной системы видеоэндоскопирования в сочетании с методами технического зрения позволяет проводить диагностику состояния лопаточного аппарата без вскрытия паровой турбины и обеспечивает необходимую точность контроля параметров [3, 4, 5].

При работе системы видеоэндоскопирования через специально выполненный канал вставляется в закрытый цилиндр, после чего в режиме валоповорота осматриваются все лопатки. Система захватывает изображение каждой из лопаток, эти кадры передаются в блок обработки изображения, где с помощью специально разработанного программного обеспечения происходит количественный анализ параметров лопаток [6].

При этом диагностика эрозийного износа РЛ паровых турбин усложняется рядом таких факторов как ограниченные объемы размещения элементов системы контроля, сложность формы поверхность РЛ и специфических условий применения (высокая рабочая температура и относительная влажность воздуха)

Целью исследований является оценка погрешности определения дефекта рабочей лопатки по размеру хорд сечений рабочих лопаток за счет оптимизации ракурсов изображений и синхронной подсветки адаптивной по уровню.

Съёмка кадров каждой РЛ осуществляется с помощью видеозонда (рисунок 1), который включает в себя импульсный источник излучения и видеокамеру. Источник излучения включается во время прохождения лопатки в поле зрения камеры в этот момент и происходит захват изображения. Изображения поступают на блок согласования, который обеспечивает их обработку, в соответствии с сигналами синхродатчика.

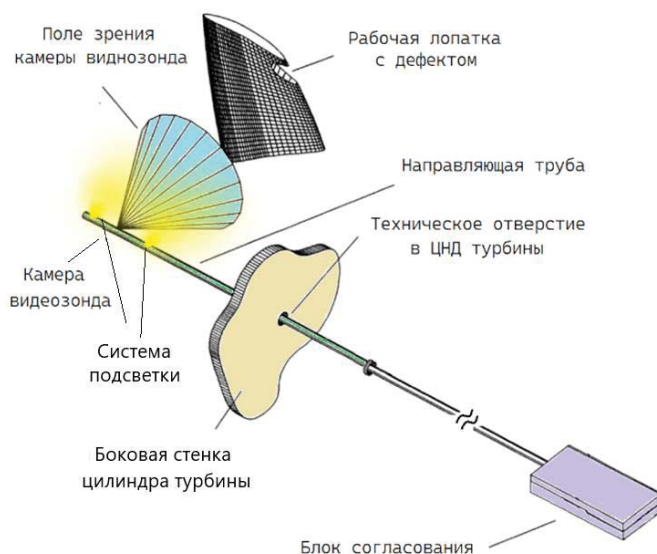


Рис. 1. Поле обзора видеокамеры видеозонда при осмотре рабочей лопатки

При оценках суммарной погрешности δb_i^{Σ} рассматривались: погрешность определения границ изображения РЛ на матричном поле анализа $\delta b_i^{МПОИ}$, погрешность фокусного расстояния оптической системы ВК δb_i^f , погрешность, вызванная неопределенностью расстояния до центра РЛ $\delta b_i^{z_0}$, погрешность, вызванная изменением углов наклона хорды по сечениям РЛ δb_i^{α} погрешность, вызванная неопределенностью радиуса сечения РЛ δb_i^R , погрешность, вызванная нестабильностью времени экспозиции видеокамеры δb_i^{exp} , погрешность, вызванная температурной деформацией корпуса зонда $\delta b_i^{\Delta T}$, погрешность, вызванная нестабильностью частоты вращения ротора δb_i^v .

Оценки погрешности (рисунок 2) проводились для: объектива видеозонда с фокусным расстоянием $f_{об} = 3,5$ мм; размере пикселя матричного фотоприемника $2,25 \times 2,25$ мкм; частоте кадров 30 Гц; времени экспозиции, составляющем 0,8 от времени кадра и отношение сигнал/шум равном 300. При этом рассматривался наихудший случай, когда расстояние от оси вала до сечения лопатки составляло 1750 мм, величине хорды была равна 200 мм и ориентирована под углом 40 угл. град к оси визирования.

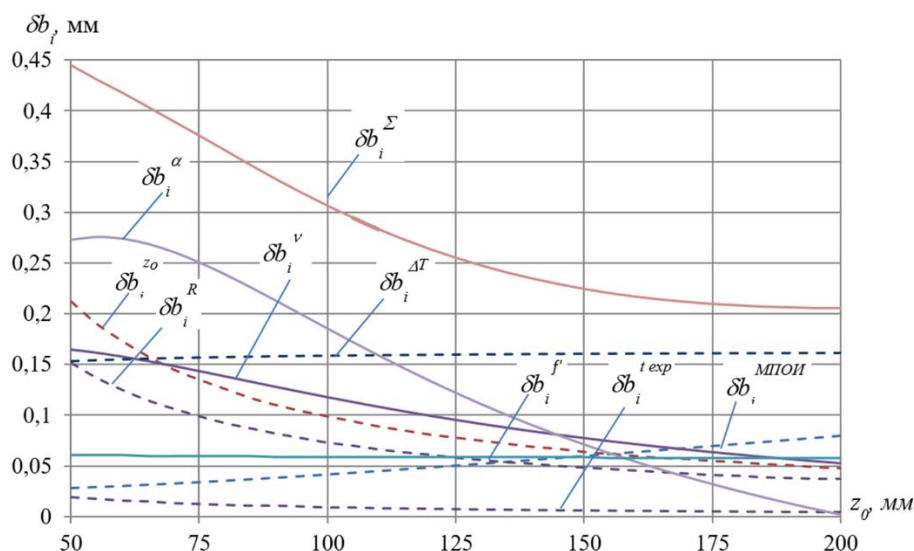


Рис. 2. Графики к оценкам степени влияния составляющих погрешностей на суммарную погрешность в зависимости от дистанции до рабочей лопатки

Компьютерные и экспериментальные исследования рационального пространственного размещения видеокамер и регулировки яркости нескольких источников синхронной подсветки показали, что при вращении модели лопаточной системы с частотой 1 об/мин обеспечивается СКО погрешности определения величины хорды менее чем 0,3 мм.

Дальнейшие исследования следует продолжить в направлении оптимизации количества видеокамер и источников подсветки для формирования модели рабочей лопатки максимально приближенной к ее фактической форме.

Список источников

- [1] **Хаимов, В. А.** Система оперативного контроля и диагностики эрозионного износа лопаточного аппарата паровых турбин / В. А. Хаимов, В. М. Ляпунов., А. М. Рубинов, С.О. Шелест // Труды ЦКТИ. — 2003. — Вып. 292. — С. 114-122.
- [2] **Мачихин, А. С.** Измерительные возможности современных видеоэндоскопов / А. С. Мачихин // Двигатель. — 2009. — № 3. — Р. 8-10.
- [3] **Хаимов, В. А.** Малорасходные режимы ЦНД турбины Т-250/300-240 / Под ред. В. А. Хаимова — СПб: БХВ-Петербург, 2007. — 240 с.
- [4] **Кульчицкий, А.А.** Система контроля геометрии осесимметричных изделий с угловым зеркальным преобразователем турбин / А.А. Кульчицкий, А.И. Потапов, А.Г. Смирнов, В.И. Бойков // изв. Вузов. Приборостроение. — 2020. — Vol 63. — № 8. — Р. 720–726.
- [5] **Скворцов, Б.В.** Методы дистанционных измерений геометрических параметров объектов / Б.В. Скворцов, И.Ю. Жиганов, А.Н. Малышева-Стройкова — М.: Ламберт, 2012. — 320 с.
- [6] **Шуть, Г.А.** Видеоэндоскопирование рабочих лопаток паровых турбин и контроль их геометрических параметров / Г.А. Шуть Г.А., В.В. Коротаев., Е.И. Пузырев Е.И., Рыжова В.А., А.Н. Тимофеев А.Н., А.Х. Ахмеров, Л.С.. Родикова // Оптический журнал. — 2020. — Т.87. — №11. — С. 58-67.

Estimation of the chord magnitude error during video endoscopy of steam turbine blades of large unit power

L. S. Rodikova, V. V. Korotaev, A. N. Timofeev

ITMO University, Saint Petersburg, Russia

The paper analyzes the possibilities of creating a video endoscopy system designed to control defects in the blades of steam turbines of large unit power. Video systems for contactless control have become effectively used to control the wear of the blade apparatus without disassembling steam turbines. This type of systems continues to develop in the direction of improving the hardware and software of video endoscopy. The use of backlight synchronization in the formation and processing of video images allows us to estimate the magnitude of defects on the edges of the blades.

Keywords: Video endoscopy system, Non-contact geometric parameter control, Blade chord, Steam turbines, Digital image processing, Backlight optimization.