

О ВЛИЯНИИ РАСФОКУСИРОВКИ КРОМОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН ПРИ ИХ ВИДЕОЭНДОСКОПИРОВАНИИ НА ЗАКРЫТОМ ЦИЛИНДРЕ

Родикова Л.С. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Коротаев В.В.
(ИТМО)

Введение. Входные кромки рабочих лопаток (РЛ) цилиндров низкого давления (ЦНД) паровых турбин подвергаются сильному эрозионному износу, что ведёт к сокращению ресурса их работы и возможным авариям. Это обуславливает необходимость периодического осмотра лопаточного аппарата, в том числе, и с целью предотвращения аварий [1, 2].

Применение современных видеоскопов [3] открывает возможности повышения точности бесконтактного контроля параметров формы при статическом положении объектов контроля. Однако существующие видеоскопы непосредственно не могут применяться для эндоскопирования в режиме валоповорота, так как они не предназначены для контроля при скорости перемещения РЛ до 0,35 м/с и необходимости обеспечения синхронизации видеокадров с положением ротора.

Использование валоповорота ротора паровых турбин [4] позволяет реализовывать оптико-электронные системы контроля износа РЛ (ОЭСРЛ) по величине их хорды, при непрерывном вращении ротора с частотой до 1 об/мин причём без вскрытия ЦНД с погрешностью до 0,9 мм [5, 6, 7].

Контроль величины хорды РЛ при применении ОЭСРЛ, затрудняется тем, что выходная кромка контролируемой лопатки может перекрываться входной кромкой следующей лопатки, поэтому необходимо задавать такое направление видеонаблюдения для каждого сечения, которое обеспечивает формирование кадров, содержащих изображение лопатки, включающее её входную и выходную кромки, а также задавать параметры синхронизации кадров и обработки видеoinформации. В результате перемещающаяся относительно ОЭСРЛ хорда контролируемого сечения лопатки ориентирована перпендикулярно оптической оси системы, поэтому плоскость изображения РЛ не совпадает с плоскостью фоточувствительной площадки матричного приёмника оптического излучения.

Таким образом в ОЭСРЛ величину хорды приходится определять по расфокусированному изображению лопатки, полученному в определенный момент положения ротора при определённом ракурсе видеонаблюдения. Исследование оптимального сочетания геометрических и временных параметров элементов системы и ОЭСРЛ в целом, в ограниченном пространстве её использования и при движении РЛ актуально, поскольку позволяет сократить время оценка износа, и диагностики состояния лопатки с требуемой погрешностью, зависящей от модели турбины [8].

Основная часть. Как было указано ранее, при $R_i < R_b$, из-за несовпадения плоскости изображения РЛ с плоскостью матричного фотоприёмника проекция изображения хорды B'_i (рисунок 2) будет возникать расфокусировка изображений точек A и C кромок РЛ.

Из полученных выражений для расчёта величины расфокусировки δ_A и δ_C следует, что расфокусировки на кромках РЛ прямо пропорциональны размеру входного зрачка объектива, а также зависят от величины хорды, фокусного расстояния объектива, расстояния от объектива видеокамеры до оси РЛ.

При использовании метода контроля величины хорды по полному размеру отображения РЛ в плоскости матричного фотоприёмника для радиусов сечений $R_i < R_b$ из-за расфокусировок на кромках A и C , будет возникать погрешность контроля величины хорды

В ходе компьютерного моделирования ОЭСРЛ для выбранного ЦНД была дана оценка величины расфокусированного отображения хорды РЛ на матричном фотоприёмнике.

Моделирование производилось для ОЭСРЛ с фокусным расстоянием объектива видеокамеры $f = 4,5$ мм при контроле хорды величиной $b_l=200$ мм, расстоянии $z_0=120$ мм. Результаты моделирования (рис. 4) показали, что оценка погрешности определения величины хорды $\delta b_{\Sigma i}^{geom}$ превышает допустимую погрешность контроля, которая составляет 0,5 мм.

Выводы. Результат моделирования показал, что рассмотренный метод контроля ширины хорды не позволяет обеспечить требуемую точность контроля. Ранее было показано, что уменьшение погрешности возможно на основе использования метода нахождения связной компоненты точек входной и выходной кромок по половине максимального уровня облучённости в бинаризованном отображении РЛ на матричном фотоприёмнике. Применение этого метода существенно уменьшает влияние расфокусировки в отображении кромок на результат определения величины хорды. Однако в этом случае необходимо учитывать пространственное распределение облучённости на матричном фотоприёмнике, которое, определяет предельную погрешность ОЭСРЛ.

Список использованных источников:

1 Назолин А. Л., Предупреждение аварий и катастроф вращающегося оборудования критически и стратегически важных объектов техносферы, научный доклад / Российская Академия Наук, Москва. 2017. ISBN 978-5-906906-03-8.

2 Ironbridge Power Station in Shropshire stops generating electricity [Электронный источник] / BBC, 20.11.2015. URL: <https://www.bbc.com/news/uk-england-shropshire-34876922> (Дата обращения: 19.05.2022).

3 Alexander S. Leyzerovich, Steam Turbines for Modern Fossil-Fuel Power Plants – The Fairmont Press, 2007 – 552 с.

4 Автоматизация технологических процессов на ТЭС и управление ими / П. А. Щинников, Г. В. Ноздренко, А. И. Михайленко, А. И. Дворцовой, А. В. Сафронов. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. — 291 с. ISBN 978-5-7782-2576-3.

5 Хаимов В.А. Кокин Е.Ш., Пузырев Е.И. Внедрение системы оперативного контроля и диагностики эрозийного износа рабочих лопаток мощных паровых турбин // Энергетические станции. 2006. № 12. С. 32–36.

6 J. Kasl, M. Matejova, J. Mrstik Failure Analysis of Rotating Blades of Low-pressure Steam Turbine Rotors and Possibility of Prediction Corrosion-fatigue Ruptures / MATEC Web of Conferences 188, 2018.

7 Шуть Г.А., Коротаев В.В., Пузырев Е.И., Рыжова В.А., Тимофеев А.Н., Ахмеров А.Х., Родикова Л.С. Видеоэндоскопирование рабочих лопаток паровых турбин и контроль их геометрических параметров // Оптический журнал/ 2020. Т. 87. № 11. С. 58-67.

G.A. Shut, V.V. Korotaev, E.I. Puzyrev, V.A. Ryzhova, A.N. Timofeev, A.N. Akhmerov, L.S. Rodikova "Videoendoscopy of working blades of steam turbines and control of their geometric parameters" Journal of Optical Technology. 87(11), 58-67 (2020).

8 Шуть Г. А., Пузырев Е. И., Васильева А. В., Васильев А. С., Некрылов И. С., Ахмеров А. Х., Тимофеев А. Н. Комплексная система эндоскопирования для контроля эрозийного износа лопаток паровых турбин //Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63. № 3. С. 228-237.