

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОЭНДОСКОПИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Л.С. Родикова, В.В. Коротаев, Г.А. Шуть, А.Н. Тимофеев
Университет ИТМО

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования оптико-электронной системы эрозийного износа лопаток паровых турбин низкого давления. Рассматриваются возможности применения системы видеоскопирования износа рабочих лопаток при автоматизированном контроле на закрытом цилиндре в режиме валоповорота.

В процессе эксплуатации паровых турбин (рис.1) рабочие лопатки подвергаются разрушению вследствие больших каплеударных нагрузок и протекающих эрозийных процессов [1]. При повреждении лопаточного аппарата ухудшается экономичность и ограничивается срок службы турбины в целом. Периодический контроль состояния лопаток позволяет выявить начальные стадии процесса их разрушения, произвести своевременный ремонт и предотвратить поломку турбины [2].

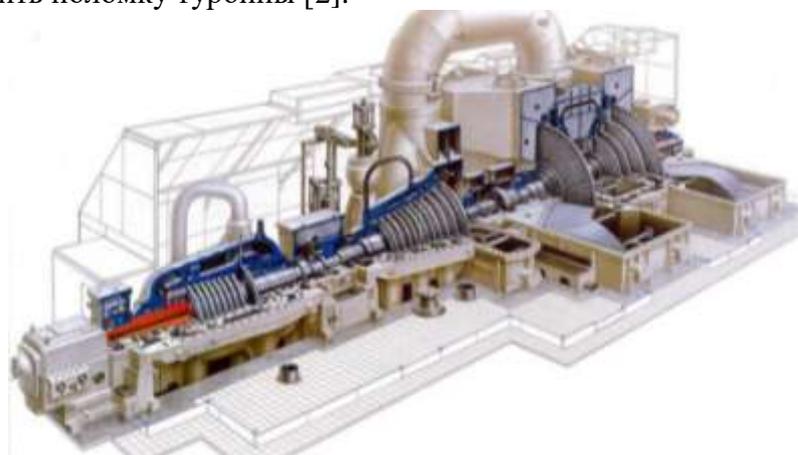


Рисунок 1. Внешний вид паровой турбины

Характерный вид эрозийных повреждений представлен на рисунке 2. Если не диагностировать подобные повреждения лопаток на ранних стадиях, то это приводит к тяжелым аварийным разрушениям турбины. Поэтому задача надежного контроля состояния лопаток имеет важное значение [3].

Периодический контроль состояния лопаток позволяет выявить начало процесса их разрушения, произвести своевременный ремонт и предотвратить поломку турбины.



Рисунок 2. Примеры эрозийных повреждений лопаток паровых турбин

Существующие средства и методы контроля эрозийного износа не в полной мере отвечают требованиям эксплуатационного оперативного контроля, важнейшими из которых

являются возможность измерения на закрытом цилиндре основных параметров износа лопаток для обеспечения необходимой точности, удовлетворяющей задачам эксплуатационной диагностики с возможностью полностью автоматического регистрации геометрии рабочих лопаток.

Перспективным решением этой технологической задачи является применение систем видеэндоскопирования [4, 5, 6]. Для автоматизации контроля величины хорды рабочей лопатки (рис. 3) в нескольких сечениях наиболее целесообразно использовать систему видеэндоскопирования, содержащую видеозонд на основе миниатюрных видеокамер с обработкой изображений на принципах машинного зрения.

Такие оптико-электронные средства бесконтактного контроля в существенной степени удовлетворяют указанным требованиям, они широко используются в промышленности, строительстве, геодезии и других областях техники. Эти системы имеют высокую производительность и необходимую точность контроля геометрических параметров.

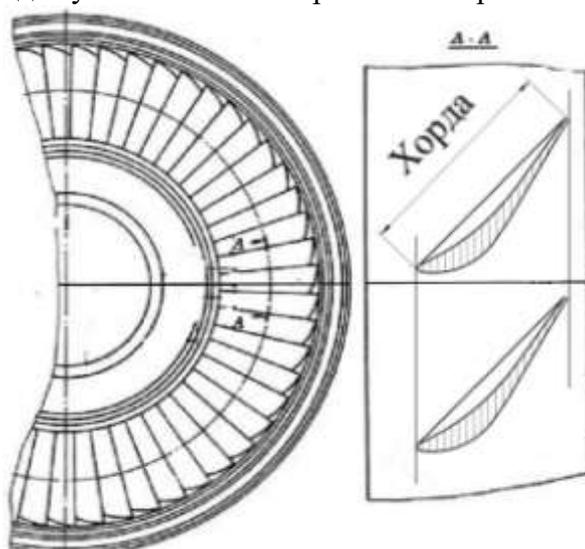


Рисунок 3. Фрагмент лопаточного аппарата турбины, показана хорда лопатки

Был предложен метод и устройство контроля геометрии пера рабочих лопаток на закрытом цилиндре в режиме валоповорота с применением видеэндоскопа [7]. Данный метод позволяет исключить трудоёмкую и энергозатратную разборку турбины при полном её останове и проводить регулярные измерения износа всех лопаток ротора турбины в режиме валоповорота.

Суть метода заключается в получении изображений каждой лопатки ротора турбины (рис.4, а) с последующей обработкой и анализом полученных кадров. Контроль осуществляется видеэндоскопом (рис. 4, б), который с помощью специального технологического отверстия вставляется внутрь турбины. В режиме валоповорота прокручивается ротор турбины и производится последовательный съём видеок кадров всех лопаток.



Рисунок 4. Макет турбины на закрытом цилиндре (а); зонд видеэндоскопа (б)

Вычисление фактической величины хорды рабочей лопатки осуществляется блоком контроля путем интеллектуальной обработки совокупности цифровых изображений рабочей лопатки, получаемых с матричного фотоприемника видеокамеры по сигналам от синхронизатора по углу поворота вала паровой турбины.

Схема устройства, позволяющего реализовать описанный выше метод представлена на рисунке 5. Основными элементами ротора турбины являются вал и закрепленные на нем лопатки. Съёмка кадров осуществляется с помощью видеоэндоскопа ВЭ. ВЭ включает в себя источник излучения ИИ и видеокамеру ВК. Для определения номера измеряемой лопатки при захвате изображения в схеме используется синхродатчик СД, он фиксирует контрольную метку КМ, закреплённую на валу. Изображения, получаемые при помощи ВЭ, поступают на блок согласования БС. Полученная информация поступает на персональный компьютер ПК, оснащённый видеомонитором ВМ.

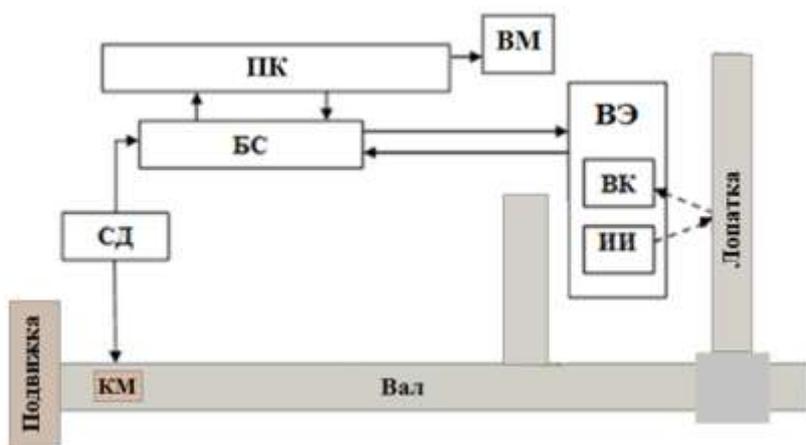


Рисунок 5. Структурная схема установки

Для исследования погрешности системы и возможности уменьшения влияния внешних факторов на измерения был проведён эксперимент на специальном стенде (рис.6). Данный стенд содержит модель вала, с закрепленными на нем моделями рабочих лопаток; контрольную метку, которая закрепляется на валу; подвижку, позволяющую имитировать движение турбины; синхродатчик, для определения номера лопатки; персональный компьютер; камеру с импульсным источником излучения. Созданный стенд позволяет регистрировать изображения в статическом режиме и в режиме валоповорота.

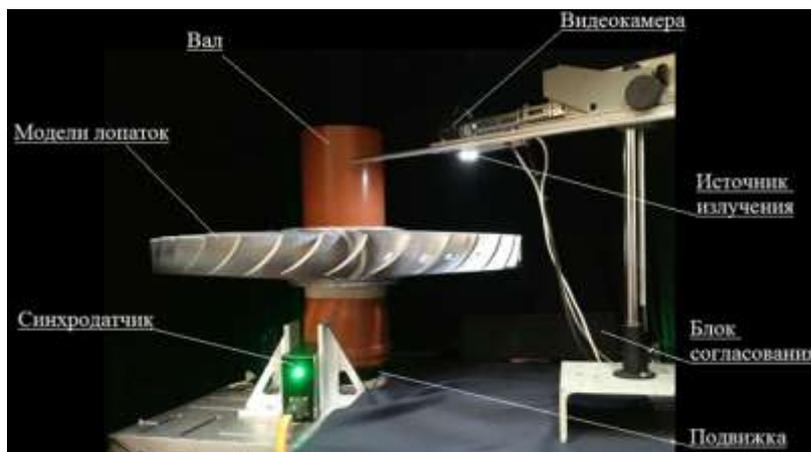


Рисунок 6. Внешний вид макета для проведения исследования

Теоретические и экспериментальные исследования составляющих погрешности контроля размера хорды рабочих лопаток турбин показали, что наибольший вклад по степени убывания оказывают следующие составляющие погрешности: погрешность от неопределенности фокусного расстояния объектива видеокамеры, погрешность, вызванная температурной деформацией корпуса зонда, погрешность, вызванная неопределенностью расстояния от видеокамеры до рабочей лопатки, погрешность, вызванная изменением углов наклона хорды по сечениям рабочих лопаток.

Эксперимент проводимый в статические (при неподвижной модели рабочих лопаток), показали, что оценка измеренного значения хорды рабочей лопатки равной 103 мм, составила 103,09 мм при СКО результатов измерений 0,39 мм.

Полученный результат близок теоретическому, к рассчитанному с помощью математической модели, значению суммарной погрешности измерения хорды лопатки 0,27мм.

Эксперименты в условиях динамической нагрузки, при валоповороте, показали, что при измерении рабочей лопатки с тем же размером хорды равным 103 мм оценка измеренного значения этой величины в динамике составила 103,33 мм при СКО результатов измерений величины хорды равной 0,88 мм. Заметное увеличение суммарной погрешности обусловлено нестабильностью частоты вращения ротора и скоростным смазом изображения, которые появляются при захвате кадров рабочих лопаток в движении.

Результаты исследований можно считать удовлетворительным. Испытания модулей опытного образца системы видеозендоскопирования на сформированном стенде подтвердили результаты компьютерного моделирования.

Литература:

1. Устройство паровой турбины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://profservice24.ru/sovety/parovaya-elektrostaniciya-svoimi-rukami-2.html> – Дата доступа : 22.10.2020
2. Хаимов В.А. Малорасходные режимы ЦНД турбины Т-250/300-240/– СПб: БХВ-Петербург. 2007. 240 с.
3. Поваров О. А., Станиша Б., Рыженков В. А. Исследование эрозионного износа лопаток паровых турбин // Теплоэнергетика. 1988. №4. С. 66-69.
4. Хаимов В.А. Кокин Е.Ш., Пузырев Е.И. Внедрение системы оперативного контроля и диагностики эрозионного износа рабочих лопаток мощных паровых турбин // Энергетические станции. 2006. №12. С. 32 – 36
5. 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 эрозионного износа лопаток паровых турбин // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 3. С. 228 — 237.
6. Шуть Г.А.; Коротаев В.В., Пузырев Е.И., Рыжова В.А., Тимофеев А.Н., Ахмеров А.Х.; Родикова Л.С. Видеозендоскопирование рабочих лопаток паровых турбин и контроль их геометрических параметров // Оптический журнал. 2020. Т. 87, № 11. С. 58-67.
7. Пузырев Е.И., Шуть Г.А. Устройство мониторинга состояния внутри турбинных узлов и деталей паровых турбин // Патент РФ № 2624380.