

УДК 621.311.22+621.311.25

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОСЕВОГО КАНАЛА РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Евдосюк Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Герасимова А.Г.

В условиях резкого возрастания стоимости модернизации, особенно изготовления нового турбинного оборудования, и с учетом того, что ряд турбин находится во вполне удовлетворительном состоянии, весьма актуальной стала проблема уточненного расчетного анализа возможности дальнейшего продления индивидуального ресурса турбин этого типа в зависимости от фактического состояния металла, динамики повреждаемости [1].

Роторы паровых турбин являются ответственными элементами, определяющими, по существу, ресурс паровой турбины. Условия их эксплуатации – высокий уровень температур и напряжений, обуславливают характер протекания процессов ползучести и малоциклового усталости.

Ротор паровой турбины – это вращающаяся часть турбины, основная задача которой – преобразовать кинетическую энергию пара в механическую энергию вращающегося ротора, которая в свою очередь преобразуется в генераторе в электрическую энергию. Ротор является главной частью турбины. Поэтому контроль и диагностика ротора выполняет такие функции как проверка надёжности ротора и продление срока службы (что в свою очередь определяет экономичность установки).

Анализ данных длительной эксплуатации роторов с учетом особенностей работы уплотнений и исследование их термонапряженного состояния позволяют выявить в них зоны, представляющие наибольшую опасность из-за вероятного образования эксплуатационных трещин. К этим зонам относятся [1]:

- зона осевого канала под высокотемпературными ступенями;
- терморазгрузочные канавки и радиусные переходы;
- ободы дисков высокотемпературных ступеней в местах крепления замковых;
- галтели дисков высокотемпературных ступеней;
- радиусы скругления пароразгрузочных отверстий в дисках.

Зоны вероятного образования эксплуатационных трещин в высокотемпературных ступенях цельнокованых роторов турбин показаны на рисунке 1.

Осевой канал ротора турбины предназначен для снятия эксплуатационных напряжений с турбины. Также осевой канал является основным местом проведения контроля ротора. Наиболее опасные дефекты, выявляемые в области осевого канала, – это дефекты, ориентированные вдоль оси ротора. Кольцевые дефекты могут появиться в исключительных случаях. Наиболее вероятно их присутствие в случае, когда, зародившись на наружной поверхности по механизму усталости, трещина развивается и доходит до осевого канала [2]. Эксплуатационные напряжения в этой зоне приводят к образованию трещин, ориентированных в радиально осевой плоскости ротора. Такое

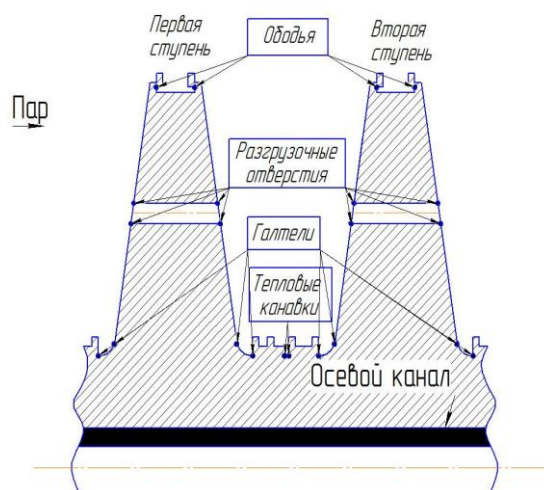


Рисунок 1 – Зоны вероятного образования эксплуатационных трещин в высокотемпературных ступенях цельнокованых роторов турбин

расположение дефектов не сказывается на изменении вибрационных характеристик валопровода и наличие дефекта может оставаться незамеченным при его увеличении до критического размера, после чего становится вероятным хрупкое (лавинообразное) разрушение ротора. Кроме того, металлургические дефекты, часто встречающиеся в крупных поковках, также ориентированы в этом направлении и представляют собой уязвимые места для зарождения в них эксплуатационных трещин.

Одним из основных методов неразрушающего контроля, применяемых для оценки состояния осевого канала ротора, является ультразвуковой метод контроля (УЗК). Ультразвуковой контроль является частным случаем акустического контроля, ввиду этого методы и технологии акустического и ультразвукового контроля совпадают. Суть ультразвукового метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектропреобразователей и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы, вида, глубины залегания и пр.

Ультразвуковой контроль проводится в диапазоне частот упругих колебаний от 20 кГц до 2 ГГц. Интенсивность колебаний обычно не велика: не превышает 1 кВт/м². К акустическим свойствам сред относят скорость распространения волны, коэффициент затухания и удельное волновое сопротивление (характеристический импеданс). В твердом теле эти величины определяют для продольных и поперечных волн [3].

Параметры выявленных дефектов определяются с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Так, например, по времени распространения ультразвука в изделии (если известна скорость ультразвука, скорость распространения ультразвуковых волн в различных материалах) в данном металле определяют расстояние до дефекта, а по амплитуде отраженного импульса – его относительный размер.

К главным преимуществам ультразвукового контроля относятся:

- высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость;
- безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии);
- высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;
- возможность проведения ультразвукового контроля (в отдельных случаях) на действующем объекте, т.е. на время проведения УЗК не требуется выведения объекта контроля из эксплуатации;
- при проведении УЗК исследуемый объект не повреждается;

Среди недостатков ультразвукового контроля выделяют следующие:

- при ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, т.к. размер дефекта определяется его отражательной способностью и поэтому по результатам контроля дается эквивалентный размер дефекта. Трудности при ультразвуковом контроле металлов с крупнозернистой структурой, из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука;

– необходимость тщательной подготовки контролируемой поверхности и нанесение контактных жидкостей для обеспечения стабильного акустического контакта [3].

Ультразвуковой контроль наряду с другими физическими методами (рентгенографический контроль, капиллярный контроль, магнитно-порошковый контроль) является надежным и высокоэффективным средством для выявления возможных дефектов. Требуется наличие специально подготовленных специалистов, специализированного оборудования и вспомогательных средств контроля, и, кроме того, предъявляет особые требования к подготовке поверхности изделия под контроль [4].

Для проведения УЗК ротора в условиях электростанции необходимо демонтировать ротор и обеспечить свободный доступ к полости осевого канала.

Для УЗК используют следующее оборудование:

1. Испытательные образцы.

2. Отраслевые стандартные образцы – стандартный образец предприятия (СОП).
3. Специальные ПЭП.
4. Радиочастотный кабель (длина 8–16 м), снабженный специальным герметичным электрическим разъемом для присоединения к ПЭП и соответствующим разъемом для присоединения к электронному блоку дефектоскопа.
5. Электронный блок серийного дефектоскопа. Рекомендуется применять дефектоскопы типа УД2-12. Допускается использовать другие серийные дефектоскопы, если они находятся в исправном состоянии и удовлетворяют требованиям настоящей Инструкции.
6. Механизмы (или приспособления) для ориентации и перемещения ПЭП в канале ротора.

Спецоснастка (пробки и козлы для ротора, подставки для дефектоскопов, ведро и лейки для иммерсионной жидкости, настил с ограждениями для дефектоскопистов).

В настоящее время действуют два утвержденных альтернативных метода УЗК ротора со стороны осевого канала [2]: иммерсионный и контактный.

Иммерсионный вариант УЗК реализуют с помощью специального координатного механизма, показанного на рисунке 2.

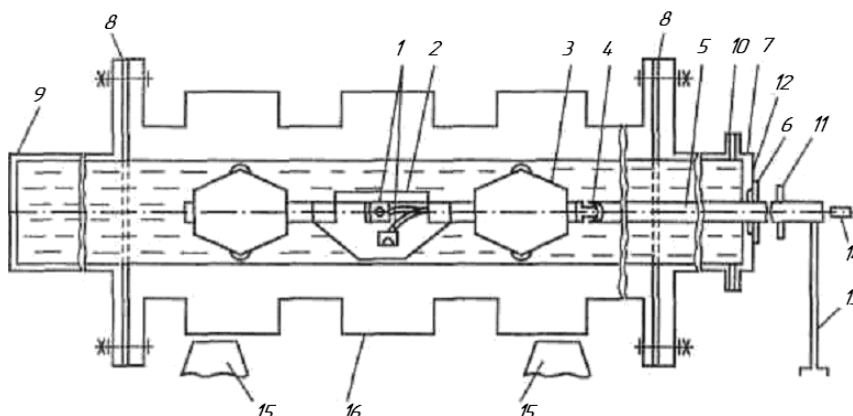


Рисунок 2 – Общий вид устройства для ультразвукового контроля ротора иммерсионным методом: 1 – пьезоэлектродпреобразователь; 2 – каретка; 3 – центратор; 4 – шарнир; 5 – штанга; 6 – резиновая манжета; 7 – проходное доньшко; 8 – резиновые прокладки; 9 – глухое доньшко; 10 – патрубок; 11 – рукоятка подачи; 12 – азимутальный диск; 13 – тренога; 14 – кабель к дефектоскопам; 15 – опоры; 16 – ротор

Контактный вариант реализуют с помощью призматических ПЭП, перемещаемых в канале ротора с помощью ориентирующей рамки и легкой трубы диаметром 18–25 мм рисунок 3.

Для создания акустического контакта ПЭП с металлом ротора применяют дегазированные жидкости (водопроводную воду или минеральное масло, например, турбинное). Для дегазации жидкости ее надо выдержать в открытом сосуде не менее 8 ч при комнатной температуре.

При иммерсионном методе ПЭП погружают в контактную жидкость, которая заполняет осевой канал ротора. В качестве пьезоэлемента ПЭП используют пьезопластину, например, из цирконата-титаната свинца ЦТС-19 диаметром 12 мм, непосредственно соприкасающуюся своей рабочей поверхностью с водой. Частота ультразвуковых колебаний 2,5 МГц.

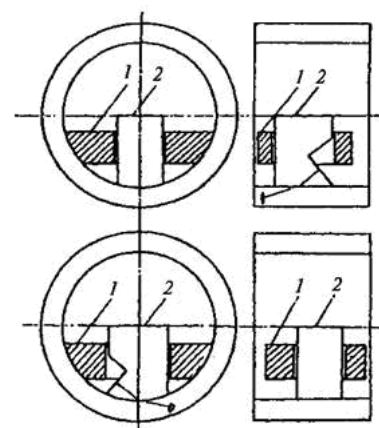


Рисунок 3 – Схема контактного метода контроля ротора при вводе ультразвука в осевой (а) и азимутальной (б) плоскостях: 1 – ориентирующее устройство; 2 – ПЭП

Иммерсионный метод предусматривает использование двух каналов обнаружения. Канал I предназначен для обнаружения дефектов, ориентированных вдоль оси ротора. В этом случае пьезопластину смещают относительно осевой линии ротора параллельно осевой плоскости, а ультразвуковые волны распространяются в азимутальной плоскости (перпендикулярно оси ротора). Канал II предназначен для обнаружения дефектов, ориентированных поперек оси ротора. Угол ввода ультразвуковых волн, распространяющихся в осевой плоскости ротора, должен составлять $60^{\circ} \pm 30'$. Для проведения иммерсионного метода контроля используют приспособления, предназначенные для перемещения и ориентации ПЭП в осевом канале ротора и уплотнения осевого канала при заполнении его водой [3].

При контактном методе применяют наклонные ультразвуковые ПЭП, снабженные приспособлениями для их ориентации и перемещения в осевом канале ротора. Частота ультразвуковых колебаний – 2,5 МГц, диаметр пьезопластины – 12 мм, угол призмы – $46^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (угол ввода – 60°) и $56^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (ввод поверхностных и поперечных волн под углом $60-90^{\circ}$). Для подключения ПЭП применяется высокочастотный кабель длиной 8–14 м [4].

В настоящее время для контроля осевого канала ротора применяются автоматизированные комплексы, например, «РОТОР-К», разработанный в УралВТИ. Аппаратура, входящая в состав комплекса, обеспечивает выявление, регистрацию местоположения и параметров дефектов в соответствии с требованиями СО 153-34.17.440-2003 как в поверхностном слое, так и в толще металла, оценку остаточной деформации ползучести [5].

«РОТОР-К» состоит из транспортного механизма (ТМ) и сменных сканирующих модулей (СМ); блока управления и преобразования (БУП); ноутбука со специальным программным обеспечением. Программа посылает команды в БУП, обеспечивает позиционирование ТМ и СМ и принимает оцифрованные информационные сигналы с первичных преобразователей (ПП). БУП содержит блок питания, блок микроконтроллера, блок вихретокового дефектоскопа, ультразвуковой коммутатор и силовые блоки управления шаговыми двигателями ТМ и СМ. ТМ обеспечивает перемещение сканирующего модуля внутри осевого канала на заданное расстояние. СМ осуществляют сканирование поверхности осевого канала чувствительными ПП. Комбинация аксиального и радиального перемещений дает возможность проконтролировать 100 % поверхности осевого канала ротора.

Ультразвуковой контроль осуществляется в иммерсионном варианте ввода ультразвука. Сканирующий модуль УЗК содержит 2 пары ПЭП установленных в специальных каретках для прозвучивания металла ротора по схеме «тандем». Возможность варьировать базу тандема позволяет оператору «заложить» требуемый порог чувствительности к глубине трещин и надежно выявлять трещины, которые развиваются с наружной поверхности ротора.

Литература

1. Волков Б.И. Автоматизированная компьютерная система «РОТОР-К» для диагностики роторов турбин со стороны осевого канала/ Б.И. Волков, В.В. Прохоров, К.М. Бондарь // Сборник докладов всероссийской конференции «Реконструкция энергетики-2009» <http://www.intecheco.ru/energo/>.
2. Герасимова А.Г. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС / А.Г. Герасимова. – Минск: Выш. шк., 2011. –272 с.
3. Резинских В.Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин / В.Ф. Резинских, В.И. Гладштейн, Г.В. Авруцкий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 296 с.
4. СО 153-34.17.440-2003. Инструкция по продлению срока эксплуатации паровых турбин сверх паркового ресурса. М., 2008.
5. Сухинин, В.П. Ресурс паровой турбины. / В.П. Сухинин, Т.Н. Пугачева // Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування №11. – Вестник НТУ «ХПИ». – 2014. – С.132–138.