

УДК 621.438: 669.01:539.4

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПТ 135-130/13

Ланкевич Л.А.

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

В условиях продолжающегося старения основных производственных фондов предприятий энергетики Республики Беларусь возрастает актуальность проблемы поддержания технического состояния оборудования ТЭС на должном уровне.

Несмотря на то, что в последнее время темпы технического перевооружения увеличиваются, изношенность генерирующих мощностей ТЭС концерна «Белэнерго» составляет более 50 %, и в ближайшей перспективе увеличение темпов осложняется недостаточным финансированием.

В сложившейся ситуации альтернативой техническому перевооружению электростанций может быть продление срока эксплуатации изношенного оборудования.

Анализ технического состояния оборудования ТЭС показал, что оборудование ряда электростанций, отработавших большой срок, имеет сравнительно неплохие показатели готовности и по показателям надёжности может конкурировать с новым. На основании этого был сделан вывод о возможности надёжной эксплуатации оборудования отработавшего парковый ресурс или приближающегося к нему [1].

В связи с тем, что самыми дорогостоящими и технически сложными в изготовлении и эксплуатации элементами энергооборудования ТЭС, как показывает экономический анализ, являются паровые турбины, именно их ресурсу работы уделяется основное внимание при рассмотрении вопросов повышения надёжности и продления сроков эксплуатации [2].

В число основных ингредиентов, определяющих надёжность и долговечность элементов паровых турбин, входят:

- особенности конструкторского исполнения;
- выбор материалов;
- технология изготовления деталей;
- особенности эксплуатации, в частности связанные с режимами пуска, параметрами среды и коррозионно-эрозионной и абразивной ее активностью;
- комплекс механических характеристик материалов;
- обоснованность применяемых методов неразрушающего контроля и продления ресурса деталей.

Основными нормативными документами, регламентирующими проведение контроля и порядок проведения оценки индивидуального ресурса паровых турбин, являются СТП 09110.17.400-03 «Инструкция по контролю металла и продлению срока эксплуатации основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций концерна «Белэнерго» [3] и РД 34.17.440-96 «Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продления их эксплуатации сверх паркового ресурса» [4].

Парковый ресурс всех турбин мощностью менее 50 МВт и работающих при давлении 9 МПа и менее – 270 тыс. час.

Парковый ресурс основных элементов турбин мощностью 50 МВт и более приведен в таблице 1.

Контроль поверхности корпусных деталей турбин осуществляется в соответствии с формулярами контроля сплошности – эскизами деталей, на которых очерчены и пронумерованы зоны контроля.

В случае отсутствия формуляров контролю подвергаются все радиусные переходы на наружной поверхности и доступные радиусные переходы на внутренней поверхности.

Таблица 1 – Парковый ресурс основных элементов турбин мощностью 50 МВт и более [3]

Тип турбины	Завод изготовитель	Парковый ресурс турбины, тыс. час.	Парковый ресурс основных элементов турбины, тыс. час.		
			Роторы высокого и среднего давления	Корпуса ЦВД, ЦСД	Корпуса стопорных и регулирующих клапанов
К-300-240, К-200-130 Т-180/215-130 ПТ-60-130/13 ПТ-80-130/13	ЛМЗ	220	220	220	170
ПТ-60-90/13 К-50-90-4, К-100-90-6 ВК-100-5, ВК-50(1,2)	ЛМЗ	270	270	270	220
К-300-240	ХТЗ	170	170	220	170
К-160-130	ХТЗ	200	200	200	170

Контроль металла корпусной детали включает в себя [2]:

- визуальный осмотр поверхности зоны контроля, зачищенной от окалины;
- магнитопорошковый или вихретоковый контроль; при наличии ремонтных аустенитных заварок – травление;
- ультразвуковой контроль объемными волнами для определения толщины стенки детали и выявления объемных металлургических дефектов в зоне обнаруженных трещин;
- измерение глубины обнаруженных трещин различными методами.

Предельным состоянием для корпусных деталей паровых турбин является появление в них трещин определенной глубины, ограничивающих их надежную эксплуатацию в течение межремонтного периода. Эксплуатация таких деталей без выполнения специальных мероприятий по восстановлению надежности недопустима.

Для измерения глубины трещин применяют электропотенциальный, вихретоковый и механический методы.

При оценке глубины трещины механическим способом сначала различными неразрушающими методами (МПД, УЗК, цветная дефектоскопия, травление, вихретоковый метод и др.) уточняется длина дефекта. После этого осуществляется фиксирование трещины путем сверления глухих отверстий, служащих исходными отметками для последующего контроля, а также являющихся препятствием для дальнейшего развития дефекта. Эти сверления должны проводиться на глубину до 10 мм, глухие отверстия должны иметь диаметр 12 – 18 мм на необработанной поверхности и 3 – 5 мм на обработанной поверхности.

Максимальная глубина трещины оценивается по результатам сверления трех-пяти глухих отверстий диаметром 12–18 мм, равномерно расположенных по длине трещины и удаленных одно от другого не более чем на 100 мм, причем одно-два отверстия должны быть выполнены посередине трещины и на участке ее максимального раскрытия.

Сверление прекращается, когда визуально в результате контроля с подсветкой при углублении сверла на каждые 3 – 4 мм устанавливается, что дно гнезда сверления очистилось от дефекта. Для проверки отсутствия трещины в дне глухого отверстия применяется токовихревой метод контроля.

Одновременно в зоне трещины должна быть определена толщина стенки детали, что необходимо для оценки остаточного ресурса. Ее значение оценивается обычно с помощью ультразвукового толщиномера. При этом в качестве эталона следует использовать фланцы и

лапы этой же детали, толщина которых определяется штангенциркулем или другим измерительным инструментом. Допускается определять толщину стенки с помощью измерительных скоб и других механических приспособлений.

Расчетный ресурс корпусов включает определение значения наработки, рассчитанные по стадиям зарождения и развития трещины, согласно приведенной в [4] методике. Остаточный ресурс кованного корпуса определяется как разность между расчетным ресурсом и наработкой корпуса на момент проведения работ по продлению его срока службы, а литого, как время его живучести.

При обнаружении в корпусе трещин он подвергается ремонту. Решение о возможности эксплуатации корпуса с трещинами без ремонта (в частности с трещинами в недоступных для ремонта зонах), а также о методах, объеме и периодичности контроля такого корпуса принимается на основании заключения специализированной организации

Для корпусных деталей турбин, в которых обнаружены трещины, глубиной, превышающие 15% толщины стенки, кроме расчетных оценок остаточного ресурса проводится определение их допустимого времени живучести по фактической скорости роста трещины в соответствии с приведенной ниже методике. Решение о продлении срока эксплуатации таких деталей принимается на основании заключения специализированной организации с учетом результатов оценок остаточного ресурса по двум подходам, рассмотренным в [4].

Оценка остаточного ресурса корпусных деталей паровых турбин проводится в соответствии с методическими указаниями [4], которые внедрены с целью сокращения объема контроля литых корпусных деталей, уменьшения трудозатрат и расхода материала, увеличения продолжительности эксплуатации. Методические указания распространяются на детали паровых турбин, отработавшие свыше 50 тыс. часов, на которых при проведении очередного контроля по наблюдению за металлом энергооборудования обнаружены трещины.

Трещины удаляются частично или полностью, или оставляются без выборки в соответствии с ремонтной документацией. Очередной контроль проводится непосредственно в ранее поврежденной зоне.

Время работы до следующего контроля назначается на основе анализа данных по глубине трещин, обнаруженных при двух последних ремонтах и результатов оценки трещиностойкости металла, причем предельный срок между обследованиями следующий: внутренняя поверхность стопорных, регулирующих и защитных клапанов –  $25 \pm 10$  тыс. часов, а в других местах всех литых деталей – через  $50 \pm 10$  тыс. часов.

Периодичность контроля назначается следующим образом:

– при глубине трещины менее 40% от толщины стенки следующая проверка проводится с максимальным перерывом, допустимым действующей инструкцией, без учета трещиностойкости металла;

– если глубина трещины составляет 40% толщины стенки и более, то для установления максимальной наработки до очередного контроля определяют среднюю скорость роста трещины за межремонтный период, предшествующий ее появлению, и оценивают эффективную толщину стенки в зоне трещины. Затем по скорости роста трещины и эффективной толщине стенки детали определяют допустимое время живучести до появления сквозной трещины.

В случае частичного оставления трещины при ремонте, контроль за ее глубиной производится при каждом очередном обследовании.

На примере турбины ПТ-135-130/13 проведем оценку остаточного ресурса корпуса нижней части ЦВД.

На нижней части ЦВД турбины ПТ-135-130/13 после  $105 \cdot 10^3$  часов эксплуатации при обследовании в районе регулирующей ступени обнаружена трещина. При засверловке установлено, что ее максимальная глубина составляет  $h_T = 58$  мм. Время работы после ремонта  $\tau_{мрк} = 25 \cdot 10^3$  ч. Толщина стенки в месте повреждения  $S_{СТ} = 120$  мм.

В соответствии с методикой [4] сначала определяется условная глубина начального дефекта:

$$h_0 = 0,1 \cdot s_{CT} = 0,1 \cdot 120 = 12, \text{ мм.}$$

Средняя скорость роста трещины за первый межремонтный период рассчитывается по формуле:

$$V_{T1} = \frac{h_T - h_0}{\tau_{мкр}}, \text{ мм/час,}$$

где  $\tau_{мкр}$  – продолжительность межремонтного периода, за который возникла трещина (не менее 10 тыс.ч).

$$V_{T1} = \frac{58 - 12}{25 \cdot 10^3} = 1,84 \cdot 10^{-3} \text{ мм/час.}$$

Затем подсчитываем допускаемое время живучести корпусной детали, которое составляет 90% от времени образования сквозной трещины:

$$\tau_p = 0,9 \cdot \tau_c, \text{ ч}$$

где  $\tau_c$  – время работы до следующего осмотра, определяемое из выражения

$$\tau_c = \frac{S_{эф}}{V_T}, \text{ ч}$$

Здесь  $S_{эф}$  – значение эффективной толщины стенки,  $S_{эф} = s_{CT} - h_T$ , мм

$$\tau_p = 0,9 \cdot \frac{120 - 58}{1,84 \cdot 10^{-3}} = 30 \cdot 10^3 \text{ ч,}$$

При повторном осмотре через  $27 \cdot 10^3$  ч установлено, что трещина углубилась еще на 38 мм. Среднюю скорость роста трещины за второй межремонтный период определяется по формуле:

$$V_T = \frac{h_T'' - h_T'}{\tau_{мкр}}, \text{ мм/час}$$

где  $h_T'$  – глубиной первоначальной трещины, мм;  $h_T''$  – глубина новой выборки, мм.

$$V_{T2} = \frac{38}{27 \cdot 10^3} = 1,40 \cdot 10^{-3} \text{ мм/час.}$$

Качество металла нижней части ЦВД из расточки регулирующей ступени, где образовался дефект, оценивается по пробе, из которой изготавливается ударный образец.

Испытания металла ЦВД показали, что его горячая твердость ниже нормы (НВ = 84 при норме 85), что свидетельствует о пониженной длительной прочности металла; критическое раскрытие металла хорошее ( $\delta \geq 0,25$  мм).

Таким образом, налицо все признаки необходимости прекращения

эксплуатации детали: глубина трещины достигла 80% толщины стенки, скорость в 1,4 раза превысила допустимый уровень ( $10^{-3}$  мм/час).

Поэтому эксплуатацию корпуса целесообразно прекратить, провести его ремонт по более надежной технологии или заменить.

Прогноз выхода трещины на поверхность позволит станции своевременно подготовиться к замене цилиндра или его ремонту.

### Литература

1. Карницкий Н.Б. Синтез надежности и экономичности теплогенерирующего оборудования ТЭС. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 227с.ил.
2. Резинских, В.Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин/ В.Ф. Резинских,

В.И. Гладштейн, Г.Д. Авруцкий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 296 с.: ил.

3. СТП 09110.17.400-03. Инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, сосудов и трубопроводов тепловых электрических станций концерна «Белэнерго».

4. РД 34.17.440-96 «Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продления их эксплуатации сверх паркового ресурса». – М.: НПО ЦКТИ, 1196. – 153с.