

УДК 621.311.25

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ АЭС С ТУРБОУСТАНОВКОЙ К-1200-6,8/50

Сероштанов Д.Л.

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

Система регенерации применяется с целью повышения тепловой и общей экономичности паротурбинной установки. Часть теплоты, полученной рабочим телом в паропроизводящей установке и подведенной к турбине, используется для подогрева воды перед ее возвращением в парогенератор. Подогрев воды осуществляется путем конденсации части пара, частично отработавшего в турбине, в специальных теплообменных аппаратах – регенеративных подогревателях. За счет этого при неизменной тепловой мощности парогенератора увеличивается его паропроизводительность, что в определенной степени возмещает уменьшение расхода пара в проточной части турбины, частично отводимого из нее в систему регенерации. Система регенерации подразделяется на часть высокого и низкого давления. Определяющим здесь является давление нагреваемой воды, а границей между частями системы – питательный насос. Нагреваемой водой в ПНД является основной конденсат пара турбины, в ПВД – питательная вода.

Последствия возникновения неисправностей и отказов системы регенерации низкого давления приводит к ухудшению экономичности турбоустановки и, как следствие, к экономическим потерям. Своевременное и квалифицированное выполнение диагностики позволяет поддерживать бесперебойную и надежную работу теплообменных аппаратов, а также продлить их эксплуатационный ресурс. Наиболее точные результаты контроля могут быть получены только при правильном выборе и применении методов дефектоскопии. Выбор метода неразрушающего контроля зависит от конструкции и материала объекта контроля, условий эксплуатации и характеристики дефектов, подлежащих обнаружению.

В тепловой схеме паротурбинной установки К-1200-6,8/50 устанавливаются подогреватели низкого давления двух типов – смешивающего и поверхностного. В первом конденсация пара происходит на струях нагреваемой воды, во-втором теплота от пара к воде передается через разделяющую их поверхность нагрева, выполненную из теплообменных труб.

На рисунке 1 изображены общие виды подогревателей низкого давления ПНСВ-4000-2А-М (ПНД-2) и ПН-2800-3,04-0,29-А (ПНД-3).

ПНД-2 вертикального типа, однокорпусной, смешивающего типа. Подогреватель представляет собой вертикальный цельносварной сосуд высотой 11040 мм, разделенный внутри перегородкой на собственно подогреватель и конденсатосборник. В верхней части аппарата расположена паровая камера, имеющая два патрубка подвода пара и коллектор отвода паровоздушной смеси. Паровая камера соединена с зоной нагрева конденсата центральной трубой, на нижнем конце которой закреплена перфорированная тарелка. Ниже паровой камеры расположена кольцевая водяная камера с двумя патрубками подвода

основного конденсата. Конденсатосборник и паровая камера снабжены лазами для осмотра и ремонта внутренних узлов аппарата.

ПНД-3 вертикального исполнения, поверхностного типа, однокорпусный с нижним расположением водяной камеры, двухходовые по основному конденсату. Поверхность теплообмена выполнена из «П»-образных трубок. Крепление трубок поверхности теплообмена и объединение их в трубный пучок осуществляется в трубной доске при помощи сварки. Трубная система подогревателя размещена в плотно облегающем кожухе, с вертикальным, по всей высоте трубного пучка, «окном» для входа пара на трубы второго хода основного конденсата. Для отвода конденсата с горизонтальных перегородок под ними установлены лотки, в которые через отверстия стекает конденсат пара. Из лотков конденсат поступает в две вертикальные трубы каркаса, в нижней части которых предусмотрены отверстия для выхода конденсата.

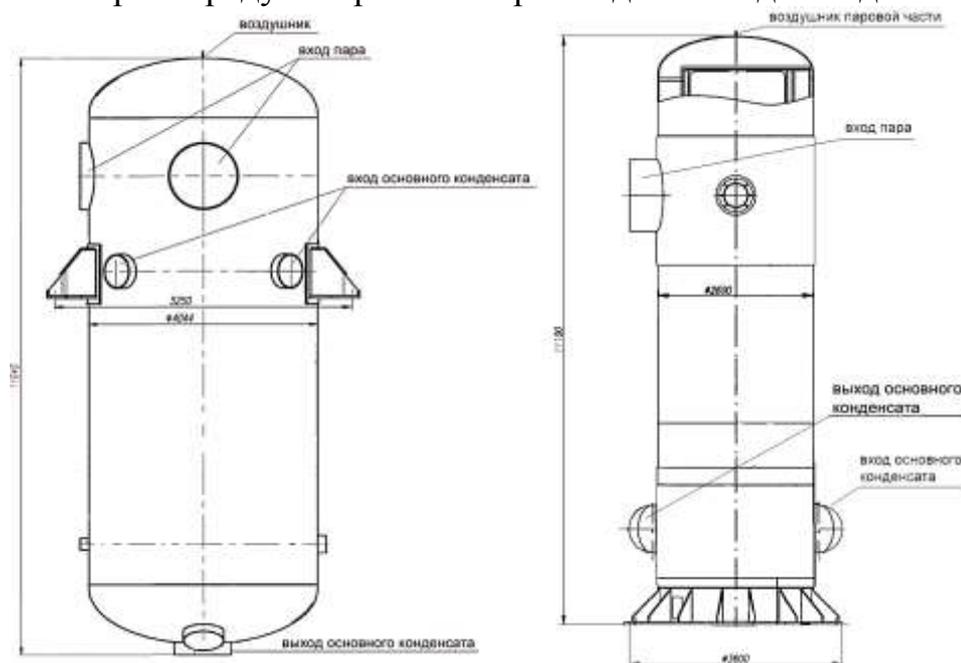


Рисунок 1. Общий виды ПНСВ-4000-2А-М (слева) и ПН-2800-3,04-0,29-А (справа)

Корпусы, фланцы корпусов и водяных камер, а также трубные доски подогревателей низкого давления турбоустановки К-1200-6,8/50 выполнены из качественной углеродистой нелегированной стали марки 20К по ГОСТ 5520–2017 [1]. В подогревателях поверхностного типа трубная система изготовлена из коррозионностойкой хромникелевой стали марки 08Х18Н10Т. Согласно ГОСТ 5632–2014 [2] стали данной марки относятся к сталям аустенитного класса. Сталь является жаропрочной, немагнитной, коррозионностойкой.

Условия работы подогревателей низкого давления характеризуются относительно невысокими температурами и давлениями как греющего пара, так и основного конденсата. Температура основного конденсата на входе в ПНД-2 составляет 62 °С, на входе в ПНД-3 – 87 °С. Давление конденсата на входе в ПНД-2 достигает 1,0 кгс/см², а на входе ПНД-3 – 19,0 кгс/см². Давление греющего пара в корпусе ПНД-2 составляет 0,638 кгс/см², что вызывает попадание коррозионно-активных газов в тракт основного конденсата (присосы в зоне давлений ниже атмосферного).

Опыт эксплуатации подогревателей низкого давления, установленных в тепловых схемах отечественных паровых турбин ТЭС и АЭС, выявил ряд характерных дефектов:

1. Основными повреждениями трубной решетки являются коррозионные разрушения, наличие забоин на поверхности уплотнений, износ отверстий под трубки. Из-за перевальцовки и явления усталости, вызываемого вибрацией трубок, возможен обрыв трубок у трубной доски.

2. Недостаточная жесткость закрепления теплообменных трубок в трубных пучках приводит к возникновению вибрации трубок. В результате чего происходит утонение стенок трубок при соприкосновении их друг с другом или с промежуточными перегородками, что в результате может привести к их разрыву. Данные повреждения изображены на рисунке 2.



Рисунок 2. Утонение стенки теплообменных трубок: слева – протяженное наружное (сквозное) утонение; справа – локальное наружное утонение

3. Эрозионный износ внутренней стенки корпуса подогревателя возникает из-за воздействия части потока греющего пара, движущегося с большой скоростью в зазоре между корпусом подогревателя и трубным пучком. Глубина такого износа может достигать 3-4 мм.



Рисунок 3 – Эрозионный износ стенки корпуса теплообменного аппарата

4. При длительном использовании теплообменника может возникать коррозия поверхностей нагрева. Одной из причин является попадание в тракт основного конденсата коррозионно-активных газов. На рисунке 6 изображена коррозионная трещина. Кроме того, могут присутствовать коррозионные пятна, коррозионные питтинги, коррозионные язвы.



Рисунок 4. Коррозионная трещина трубки поверхности нагрева

Рассмотренные выше характерные повреждения подогревателей низкого давления показали необходимость организации и осуществления контроля за состоянием корпуса подогревателя, поверхностью нагрева, трубными досками.

Наиболее простым, доступным и оперативным методом неразрушающего контроля корпуса подогревателя является визуально измерительный контроль. Метод используется, как обязательный перед другими методами контроля. Он позволяет определить наличие коррозионных повреждений, расслоений, непроваров, глубоких пор. При проведении визуально измерительного контроля возможно использование специального оборудования. К наиболее удобным инструментам для проведения контроля качества швов относится штангенциркуль, лупа, линейка. Штангенциркуль и линейка позволяет измерить геометрические параметры сварного соединения корпуса. В сомнительных местах контроль проводится с помощью лупы.

В процессе планово-предупредительного ремонта подогревателя подвергаются гидравлическим испытаниям. Гидравлические испытания на прочность и плотность для подогревателей низкого давления проводятся отдельно для трубного и межтрубного пространства. В качестве среды, используемой для гидроиспытаний, применяется химобессоленная вода. Давление среды поднимается равномерно до достижения пробного. Время выдержки под пробным давлением должно быть не менее 20 минут. После выдержки давление плавно снижается до расчетного, при котором производят визуальный осмотр наружной поверхности, разъемных и сварных соединений. Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено: течи, трещин, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле; видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Для более точного контроля поверхностных дефектов наружной поверхности и сварных соединений корпусов ПНД целесообразно использовать вихретоковый контроль. Применение данного метода обусловлено наличием лакокрасочного покрытия на наружной поверхности корпуса ПНД, что не позволяет использовать капиллярный метод контроля.

Вихретоковый контроль основан на анализе взаимодействия переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона (диапазон от единиц герц до десятков мегагерц), создаваемого вихретоковым преобразователем, с контролируемым электропроводящим объектом контроля [3].

Вихретоковый контроль сварных соединений обечаек корпусов ПНД помогает определить геометрические размеры и структуру изучаемого объекта.

Благодаря данному методу можно определить не только наличие несплошностей, но и их место расположения, так как далеко не все из них располагаются на виду, а могут залегать на различной глубине. Данный метод помогает определить наличие раковин, закатов, расслоений, трещин различного типа, а также наличие неметаллических включений, пор и прочих видов дефектов сварных швов.

Для выявления внутренних дефектов сварных соединений корпусов подогревателей необходимо использовать ультразвуковой контроль, так как из всех существующих методик дефектоскопии данный способ является наиболее доступным и недорогим. Метод основан на возбуждении и распространении акустических (упругих) волн в упругих телах и определении акустических свойств материала исследуемого объекта контроля. Он проводится с использованием универсальных дефектоскопов, работающих на эхо-методе. Угол ввода акустических колебаний выбирается таким образом, чтобы расстояние от сварного шва до искателя было минимальным, а направление акустического луча – как можно ближе к нормали по отношению к сечению, в котором площадь ожидаемых дефектов максимальна. Контроль ведут прямым и однократно отраженным лучом. При обнаружении дефектов в сварном шве корпуса необходимо производить УЗД всего шва и прилегающего к нему основного металла шириной 20 мм с двух сторон от границы по всей длине шва [4].

Большое внимание при эксплуатации теплообменных аппаратов уделяется состоянию трубных решеток. В первую очередь для оценки состояния наружной поверхности трубной доски, как и для корпуса, проводится визуальный контроль с применением вспомогательных инструментов. Для определения невидимых или слабовидимых поверхностных дефектов трубной доски применяется капиллярный метод контроля. Капиллярный контроль основан на проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя. С помощью капиллярной дефектоскопии выявляют протяженность, ориентацию, направление поверхностных и подповерхностных дефектов. Чувствительность капиллярного метода позволяет выявлять трещины с шириной раскрытия у выхода на поверхности более 0,001 мм, глубиной более 0,01 мм и длиной более 0,1 мм. Капиллярный контроль представляет собой следующий перечень операций: подготовка изделия к контролю, нанесение индикаторной жидкости, удалению излишков индикаторной жидкости, нанесения проявителя и расшифровка результатов [4].

Контроль состояния трубных пучков, как правило, производится путем гидравлических испытаний, которые требуют больших затрат времени и усилий, направленных на монтирование и демонтирование крышек корпуса, поднятие давления, отглушение поврежденных труб. Для снижения вынужденных простоев из-за дефектов поверхности нагрева целесообразно проводить периодический контроль трубок теплообменников методами неразрушающего контроля. Основной задачей диагностики теплообменных

трубок является не только обнаружение в них локальных дефектов, но и анализ поражений трубок по площади и глубине для того, чтобы установить, необходима ли герметизация дефектной трубки или она может эксплуатироваться до следующей очередной проверки.

Одним из основных методов неразрушающего контроля теплообменных трубок является вихретоковый метод. Данный метод требует сканирования преобразователем по всей длине трубки теплообменника. Поэтому контроль ведется с использованием внутреннего проходного вихретокового преобразователя, закрепленного на конце гибкой штанги. Преобразователь вводится в контролируемую трубку на всю длину. Считывание информации о дефектах происходит во время движения преобразователя.

Внешний вид штатного проходного вихретокового преобразователя для контроля трубок подогревателя показан на рисунке 5.

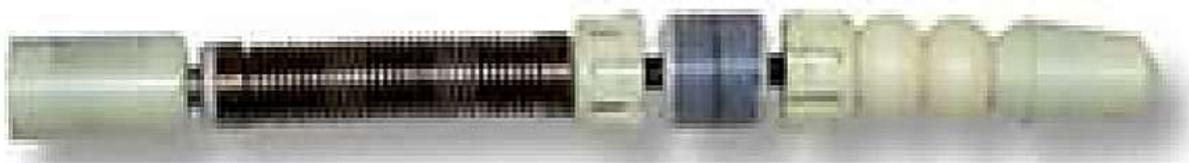


Рисунок 5. Штатный проходной ВТП

Вихретоковый контроль дает возможность обнаружить присутствие сквозных и несквозных дефектов в трубках, их месторасположение и глубину. ВТК также позволяет своевременно выявить начало коррозионного повреждения поверхностей нагрева, установить динамику деградации теплообменных трубок конкретного подогревателя и принять необходимые меры для замедления или прекращения этого процесса. Недостатком вихретокового контроля поверхности нагрева является длительность времени проведения диагностики.

В процессе эксплуатации возможны изменения в твердости конструкционных материалов, из которых изготовлены подогреватели низкого давления, поэтому необходимо периодически измерять твердость сталей. Контроль твердости сталей, как правило, осуществляется по методам Бринелля, Виккерса или Роквелла. Приборы, осуществляющие измерение значений статической твердости по этим шкалам, в большинстве случаев, представляют собой стационарные установки. При контроле таких крупногабаритных деталей (корпус ПНД) или элементов оборудования (теплообменные трубки и трубная доска), необходима вырезка специальных образцов, которая приводит к нарушению целостности, что крайне недопустимо. Ввиду этого в текущей практике контроля твердости металлов все чаще применяются портативные твердомеры. Механические свойства корпуса ПНД измеряются с помощью твердомеров статического действия, трубной доски – с помощью твердомеров динамического действия, теплообменных трубок – с помощью твердомеров, работающих на ультразвуковом методе.

Вывод: Для того, чтобы избежать внеплановые остановы и финансовые потери в связи с незапланированным ремонтом подогревателей низкого

давления, необходимо применять неразрушающий контроль. Оценку состояния наружной поверхности корпуса ПНД целесообразно проводить визуальным и вихретоковым контролем, а также гидравлическими испытаниями. Выявление внутренних дефектов корпуса осуществляется с помощью ультразвуковой дефектоскопии. Для оценки состояния наружной поверхности трубной доски и поверхности нагрева применяется капиллярная дефектоскопия и гидравлические испытания. Внутренние дефекты теплообменных трубок детектируются с помощью проходного вихретокового преобразователя. Механические свойства материалов подогревателей определяются портативными твердомерами.

Литература

1. ГОСТ 5520-2017. Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.
2. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с Изменением N 1).
3. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев [и др.]; под общ. ред В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
4. Герасимова, А.Г. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС: учебн. Пособие – А.Г.Герасимова. – Минск: Выш.шк., 2011. – 272 с.