

УДК 621.311

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС

Пархомчик Е.М.

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

Особо важное значение в энергетике имеет решение вопроса безопасности работы оборудования, который во многом зависит от работоспособности металла. Растущие требования к надежности и долговечности оборудования электростанций требуют постоянного совершенствования методов и средств его контроля, заключающегося в проверке соответствия показателей качества оборудования установленным требованиям. Критериями качества могут являться физические, геометрические, функциональные и технологические показатели.

Основу современной теплоэнергетики составляют тепловые электрические станции, оснащенные мощными парогенераторами и турбинами. Базовыми конструкционными материалами теплоэнергетических установок являются стали и сплавы. Металл в теплоэнергетике работает в тяжелых условиях под воздействием многочисленных конструктивно-технологических (концентраторы напряжений и деформаций, вызванные геометрией деталей отверстия, малые радиусы скруглений, резкие переходы от сечения к сечению; остаточные напряжения и деформации, возникающие в результате технологической обработки деталей; качество металла и изготовления конструкций) и эксплуатационных (повышенная температура, давление рабочей среды, коррозия, эрозия, стационарные и периодически меняющиеся нагрузки, длительность эксплуатации) факторов. В процессе эксплуатации электростанций возможны разрушения металла оборудования как вследствие технологических дефектов, так и в результате воздействия эксплуатационных условий. Длительная эксплуатация энергоустановок приводит к изменению структуры металла, накоплению в нем повреждений и, как следствие, ухудшению его основных служебных свойств (прежде всего, способность металла длительно противостоять воздействию высокой температуры, давлению, коррозии и эрозии) и снижению надежности работы оборудования и трубопроводов[1].

Таким образом, для своевременного выявления и устранения опасных изменений или нарушений в металле необходимы систематические наблюдения и контроль на всех стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации оборудования, что является необходимым условием безопасной эксплуатации электростанций.

Несмотря на усиление контроля качества металла энергетических установок на заводах-изготовителях, часто наблюдаются случаи поставки тепловым электростанциям оборудования с дефектами (некачественная сварка, различные поверхностные дефекты и др.).

В период монтажа и проведения пуско-наладочных работ должен быть выполнен входной контроль за исходным состоянием металла оборудования методами, которые будут применяться в процессе эксплуатации.

Предэксплуатационный (входной) контроль состояния металла оборудования и трубопроводов и других элементов электростанций проводится для получения данных состояния металла оборудования, трубопроводов и других элементов электростанций после окончания этапов, предшествующих физическому пуску: транспортирования на площадку электростанции и временного хранения, монтажа, гидравлических испытаний, циркуляционной промывки и «горячей» обкатки.

Результаты входного контроля являются исходными данными для сравнения с результатами контроля металла оборудования, трубопроводов и других элементов ТЭС при эксплуатации.

Объем предэксплуатационного неразрушающего контроля должен, как минимум, охватывать объем контроля, предусмотренный типовой программой предэксплуатационного неразрушающего контроля.

Неразрушающий контроль не связан с разрушением или повреждением объекта контроля, и поэтому он может быть сплошным. Неразрушающий контроль дефектов, структуры и твердости металла проводится непосредственно на деталях и конструкциях с помощью переносных или портативных приборов. Для контроля структуры металла используют переносные микроскопы или пластиковые реплики, а для выявления дефектов применяют различные физические методы, основанные на взаимодействии различных физических полей, излучений и веществ с объектом контроля. Физические методы контроля также могут использоваться при контроле геометрических размеров (толщинометрия); контроле структуры, химического состава и механических свойств (структуроскопия)[2].

При выполнении предэксплуатационного и эксплуатационного контроля допускается проводить:

- визуальный осмотр, предназначенный для получения информации об общем состоянии оборудования, трубопроводов и других элементов электростанции, в том числе, состоянии их опор и подвесок, состоянии крепежных соединений, а также для обнаружения формоизменений и перемещений сверх установленных границ, коррозионных или механических повреждений, протечек или следов протечек. При визуальном осмотре могут применяться телевизионные камеры, оптические средства, например, бинокли, зеркала, эндоскопы и т. п.;

- контроль состояния поверхности оборудования, трубопроводов и других элементов электростанции осуществляется с целью выявления поверхностных дефектов;

- контроль в объеме металла оборудования, трубопроводов и других элементов электростанции с целью выявления подповерхностных дефектов (контроль по толщине стенки оборудования, трубопроводов);

- определение механических свойств металла оборудования, трубопроводов и других элементов электростанции;

- определение химического состава оборудования, трубопроводов и других элементов электростанции.

При выполнении контроля состояния поверхности оборудования, трубопроводов и других элементов электростанции должны применяться:

- **визуальный и измерительный контроль**, контроль геометрических размеров оборудования и трубопроводов, включая:

- телевизионный визуальный контроль;

- телевизионный измерительный контроль;

- контроль с применением эндоскопов, перископов и других оптических средств;

- **капиллярный контроль** – вид неразрушающего контроля, основанный на проникновении веществ в полости дефектов контролируемого объекта, применяют для обнаружения невидимых или слабовидимых невооруженным глазом поверхностных и сквозных дефектов (раскрытием  $<10$  мкм) в объекте контроля любых форм и размеров, изготовленных из металлических или других любых твердых непористых материалов;

- **магнитопорошковый контроль** предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в ферромагнитных материалах и основан на выявлении магнитных полей рассеяния над дефектами с помощью ферромагнитных частиц (рисунок 1);

- **вихретоковый контроль** основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте. Схема вихретокового контроля показана на рисунке 2. Вихретоковый метод контроля применяют для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в электропроводящих материалах, измерения толщины покрытий, определения механических свойств и структуры материалов.

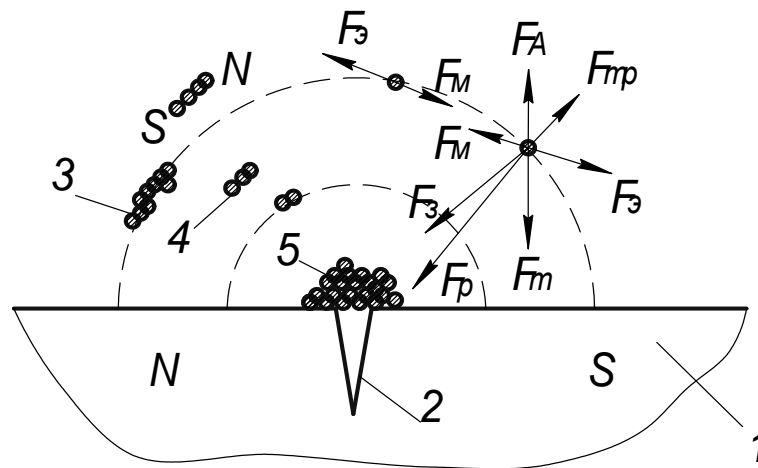


Рисунок 1. Магнитное поле над трещиной при магнитопорошковом контроле: 1 – объект контроля; 2 – трещина; 3,4 – цепочки из частиц порошка; 5 – порошок над трещиной;  $F_3$  – сила магнитного поля, направленная к месту трещины;  $F_{тр}$  – сила тяжести;  $F_A$  – сила выталкивающего действия жидкости;  $F_{тр}$  – сила трения;  $F_3, F_M$  – силы электростатического и магнитного взаимодействия между частицами;  $F_p$  – результирующая сила

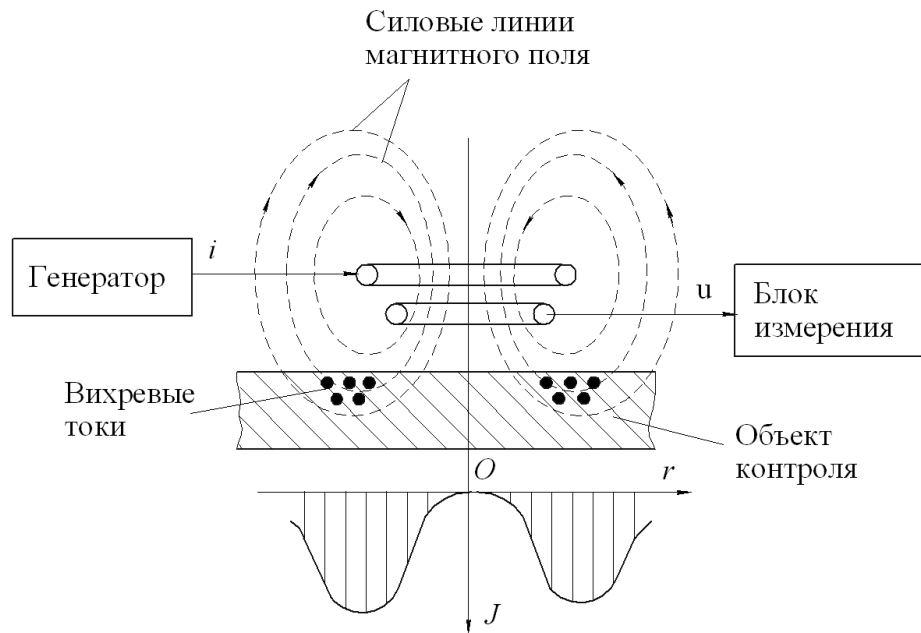


Рисунок 2. Схема вихретокового контроля

При выполнении контроля в объеме металла по толщине стенки оборудования, трубопроводов должны применяться:

– **ультразвуковой контроль** основан на возбуждении и распространении ультразвуковых волн в упругих телах, и определении акустических свойств материала исследуемого объекта контроля. Ультразвуковой контроль применяется в основном для выявления внутренних дефектов и определения толщины объектов контроля при одностороннем доступе. Из существующих ультразвуковых методов неразрушающего контроля наибольшее практическое применение нашел эхо-метод отражения (рис.3). Около 80 % объектов, контролируемых УЗ методами, проверяют эхо-методом.

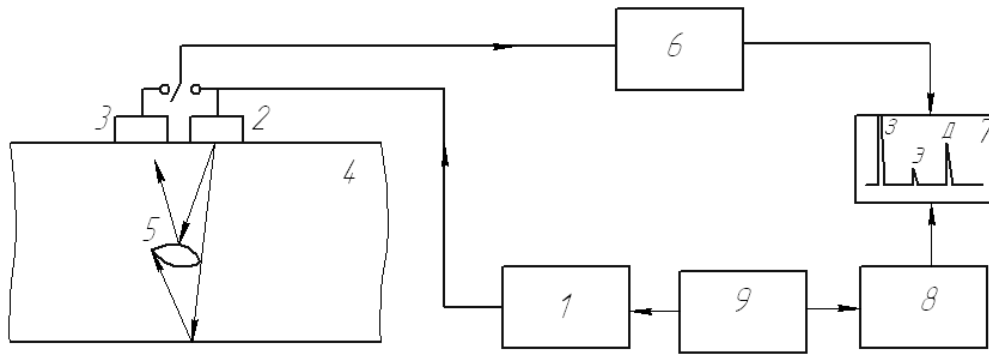


Рисунок 3. Упрощённая структурная схема ультразвукового эхо-дефектоскопа:  
 1 – генератор; 2,3 – излучатель и приемник (пьезоэлектрический преобразователь);  
 4 – объект контроля; 5 – дефект; 6 – усилитель; 7 – индикатор; 8 – генератор развертки; 9 – синхронизатор; Э – зондирующий импульс, Э – импульс от дефекта, Д – импульс от донной поверхности контролируемой детали

– **радиографический контроль** – основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение, широко распространён в связи с его простотой и документальным подтверждением получаемых результатов;

– **контроль методом акустической эмиссии**. Метод основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе внутренней локальной перестройки кристаллической структуры контролируемого объекта, появления и развития трещин в объекте контроля и др., позволяет регистрировать развивающиеся дефекты и оценивать степень их опасности. Схема акустико-эмиссионного метода контроля показана на рисунке 4.

– контроль герметичности и гидравлические испытания [3].

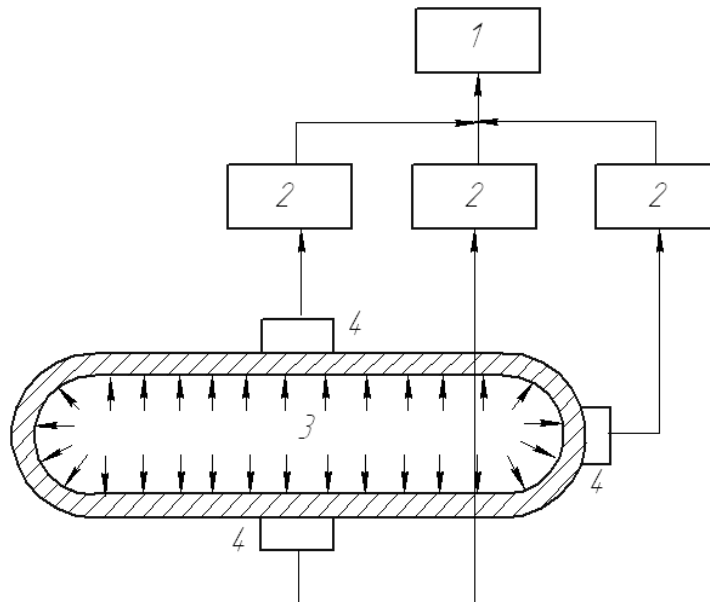


Рисунок 4.. Схема акустико-эмиссионного метода контроля: 1 – генератор; 2 – излучатель;  
 3 – объект контроля; 4 – приемник; 5 – усилитель; 6 – блок обработки информации с индикатором

Требования и методики проведения неразрушающего контроля оборудования и трубопроводов ТЭС регламентируются техническими нормативно-правовыми актами (ТНПА), некоторые из которых приведены в таблице.

Технические нормативные правовые акты, устанавливающие требования к методам контроля приведены в таблице 1.

Таблица – Методы неразрушающего контроля

№ п/п	Метод контроля	ТНПА
1	Визуальный и измерительный контроль	СТБ 1133, ГОСТ 23479
2	Капиллярный контроль	СТБ 1172
3	Магнитный контроль	СТБ ЕН 1290, ГОСТ 21105
4	Магнитопорошковый контроль	СТБ ЕН 1290, ГОСТ 21105
5	Ультразвуковой контроль	СТБ ЕН 1714
6	Радиографический контроль	СТБ ЕН 1435
7	Вихретоковый контроль	СТБ ЕН 1711, ГОСТ 24289
8	Контроль герметичности	ГОСТ 25136, ГОСТ 28506
9	Акустическая эмиссия	ГОСТ 27655

Использование современных методов неразрушающего контроля и технических средств оперативной диагностики состояния металла, длительно эксплуатирующего оборудования и трубопроводов ТЭС способствует своевременному выявлению потенциально опасных мест в деталях и конструкциях энергоустановок и предотвращению аварийных ситуаций.

#### Литература

1. Материалы оборудования ТЭС [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студ. спец.: 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции" / кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции", сост. Герасимова А.Г. . - Электрон. дан.. - БНТУ, 2016. . - eLib.

2. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студентов специальностей: 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции", 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции", сост. А. Г. Герасимова, С. А. Качан. - Электрон. дан. - Минск : БНТУ, 2017.

3. Герасимова А.Г. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС/А.Г.Герасимова. : учебное пособие – Минск: Выш. Шк., 2011. – 272 с.