

УДК 621.791.05:620.179

Абабков Н. В., к.т.н., доц.

(КузГТУ, г. Кемерово)

Смирнов А. Н., профессор, д.т.н.

(КузГТУ, г. Кемерово)

Никитенко М. С., к.т.н., доц.

(КузГТУ, г. Кемерово)

Фольмер С. В., к.т.н., доц.

(ООО "КЦСК", г. Кемерово)

Ababkov Nikolay, candidate of engineering sciences

(KuzSTU, Kemerovo)

Smirnov Alexander, professor, doctor of engineering sciences

(KuzSTU, Kemerovo)

Nikitenko Mikhail, candidate of engineering sciences

(KuzSTU, Kemerovo)

Folmer Sergey, candidate of engineering sciences

(LLC "KWCC", Kemerovo)

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ
СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ГИБОВ ПАРООТВОДЯЩИХ И
ВОДООПУСКНЫХ ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ИЗ СТАЛИ 20**

**APPLICATION OF INTELLIGENT AUTOMATED CONTROL
SYSTEM OF NON-DESTRUCTIVE TESTING FOR ASSESSMENT OF
METAL BENT PORTIONS OF STEAM AND DISCHARGE PIPES OF
STEAM BOILERS OF STEEL 20**

Введение

В процессе эксплуатации элементов технических устройств опасных производственных объектов (ТУОПО) теплоэнергетической промышленности возникает целый ряд проблем, которые могут привести к техногенным катастрофам и человеческим жертвам.

Для таких элементов теплоэнергетической промышленности, как водоопускные и паропроводящие трубы, которые изготовлены из стали 20, характерным является процесс выделения структурно свободного графита [1] в металле сварных соединений и в основном металле. Наиболее часто данное явление происходит на участках труб с наибольшими напряжениями, а именно в металле гибов водоопускных и паропроводящих труб.

Поэтому весьма актуальным становится вопрос разработки новых, эффективных технологий, методов и способов оценки работоспособности и восстановления ресурса элементов технических устройств.



Перспективным методом оценки состояния основного металла, сварных швов является спектрально-акустический метод. Ранее авторами было установлено [4–7], что спектрально-акустический метод контроля является чувствительным методом оценки локальных полей внутренних напряжений и параметров микроструктуры (плотности дислокаций, кривизны-кручения кристаллической решетки и т.д.). Измеряемые акустические характеристики металлов имеют связь с механическими свойствами материалов. Авторами работ [4–7] предложены комплексные критерии степени поврежденности металла, выраженные в относительных единицах.

Таким образом, цель настоящей работы заключалась в повышение эффективности технологии неразрушающего контроля металла гибов пароотводящих и водоопускных труб путем применения интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом неразрушающего контроля.

Методики и материалы исследований

Объектом исследований являлся металл гибов пароотводящих и водоопускных труб паровых котлов типа ТП-87-1, которые эксплуатируются на Ново-Кемеровской ТЭЦ (г. Кемерово) (табл. 3.1).

Таблица 1. Общие характеристики образцов металла гибов пароотводящих и водоопускных труб

№ образца	Описание образца	Изображение
Гибы пароотводящих труб Ø133×13 фронтального экрана		
Образец № 1	Дефекты отсутствуют. Нарботка 242 тыс. ч	
Образец № 2	Дефект: технологический закат в виде отслоения на наружной поверхности растянутой зоны с протяженностью дефекта $L \approx 20$ мм. Нарботка 242 тыс.ч	

Продолжение таблицы 1

Образец № 3	Дефект: технологический закат на наружной поверхности нейтральной зоны с протяженностью дефекта $L \approx 400$ мм. Нарботка 242 тыс.ч	
Гиб водоопускных труб Ø159×12 фронтального экрана		
Образец № 4	Прямой участок. Дефекты отсутствуют. Нарботка 0 тыс.ч	
Образец № 5	Прямой участок. Дефекты отсутствуют. Нарботка 219 тыс.ч	
Образец № 6	Растянутая зона. Дефекты отсутствуют. Нарботка 219 тыс.ч	
Образец № 7	Дефект: коррозионно-усталостная трещина, развившаяся по технологической риске на внутренней поверхности нейтральной зоны. Нарботка 219 тыс. ч	

Исследование металла гибов пароотводящих и водоопускных труб спектрально-акустическим методом проводилось при помощи измерительно-вычислительного комплекса «АСТРОН» с частотой датчика поверхностных акустических волн 6 МГц. Были проведены измерения времени задержки (R , нс) и отношения размахов импульсов поверхностной акустической волны (коэффициент затухания $K_{\text{зат}} = 1/\mu\text{кс}$), распространяющихся в материале исследуемого объекта. Для этого были подготовлены зоны контроля на поверхности образцов. После этого были сделаны замеры параметров R и $K_{\text{зат}}$ с продольным расположением датчика относительно центральной осигиба.

Результаты исследований

Результаты измерения акустических характеристик (табл. 3) показали, что для образцов №№ 2, 3 и 7, имеющих дефекты, характерны более

высокие значения R и $K_{\text{зат}}$, чем для образцов №№ 1, 4, 5, 6. Так как в образцах №№ 1, 4, 5 и 6 нет дефектов, то средние значения R и $K_{\text{зат}}$ для этих образцов ниже не имеют и ярко выраженных пиковых значений. Наименьшие значения R и $K_{\text{зат}}$ зарегистрированы для образца № 4 (металл без эксплуатации).

Таблица 2. Результаты измерения акустических характеристик (R , $K_{\text{зат}}$) в металле гибов пароотводящих и водоопускных труб после наработки без дефектов и с дефектами

№ образца	Среднее значение R , нс	Среднее значение $K_{\text{зат}}$, 1/мкс
1	5178	0,209
2	5195	0,229
3	5203	0,264
4	5140	0,205
5	5173	0,245
6	5189	0,248
7	5204	0,296

По результатам измерений были построены графики распределения R для гибов пароотводящих и водоопускных труб (рис. 1 и 2).

Для всех исследованных образцов авторами был выполнен расчет комплексного критерия предельного состояния длительно работающего металла [6, 8], который определяется по формуле

$$K_f = \frac{W_\tau - W_0}{W_f - W_0} \frac{W_f}{W_\tau} \gamma, \quad (1)$$

где γ – коэффициент, учитывающий материал контролируемого элемента; $\gamma = 1,0 \dots 1,1$; W_τ – время задержки ПАВ в металле в момент контроля; W_0 – время задержки ПАВ в металле с исходным состоянием структуры; W_f – время задержки ПАВ в металле, исчерпавшем свой ресурс работоспособности.

Комплексный критерий предельного состояния, выраженный в относительных единицах, позволяет судить о количественной величине поврежденности и прекращать эксплуатацию ТУОПО для замены контролируемого элемента, исходя из соотношения $K_f \geq 0,7$.

На основе разработанных ранее критериев [4–7] была разработана автоматизированная система управления процессом неразрушающего контроля. На рис. 3 и 4 представлена вкладка «Длительно работающий металл», предназначенная для оценки состояния основного металла различных типов оборудования, эксплуатируемых длительное время в сложных напряженных условиях. На рис. 5 и 6 показаны примеры расчета

комплексного критерия предельного состояния длительно работающего металла для образцов №1 и №2.

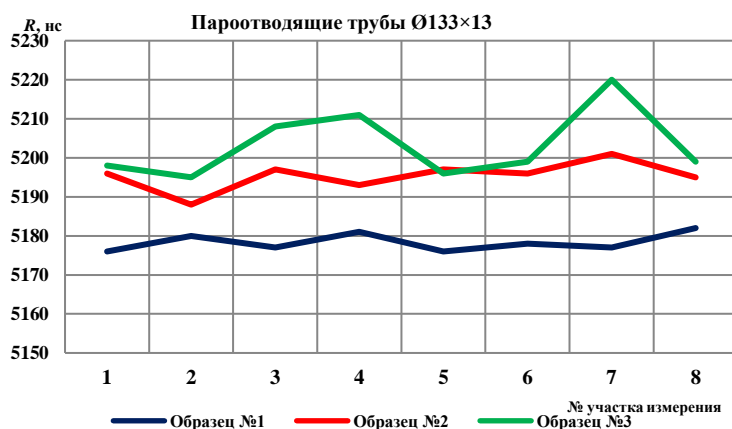


Рис. 1. Распределение времени задержки ПАВ по поверхности образцов пароотводящих труб (Ø133×13)

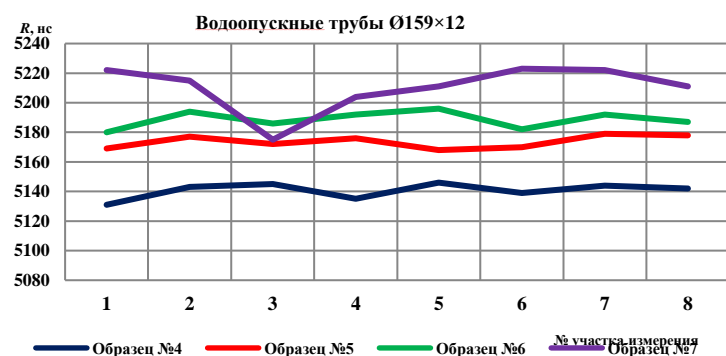


Рис. 2. Распределение времени задержки ПАВ по поверхности образцов водоопускных труб (Ø159×12)

Оценки работающего металла

Проверить соединение

Соединения паропроводов Барабаны котлов **Длительно работающий металл**

Комплексный критерий предельного состояния длительно работающего металла

$W_0 =$
 $W_f =$
 $W_r =$
 $\gamma =$
 $K_f =$

Датчик:
Марка:

Рис. 3 – Вкладка «Длительно работающий металл»

Оценки работающего металла

Проверить соединение

Соединения паропроводов Барабаны котлов Длительно работающий металл

Комплексный критерий предельного состояния длительно работающего металла

$W_0 =$ Датчик: 4 МГц

$W_f =$ Марка:
 Сталь 12X1МФ
 Сталь 20
 Сталь 09Г2С
 Сталь 22К
 Сталь 16ГНМА

$W_t =$

$\gamma =$

$K_f =$

Рис. 4. Выбор марки стали, вкладка «Длительно работающий металл»

Оценки работающего металла

Проверить соединение

Соединения паропроводов Барабаны котлов Длительно работающий металл

Комплексный критерий предельного состояния длительно работающего металла

$W_0 =$ 5134 Датчик: 6 МГц

$W_f =$ 5219 Марка: Сталь 20

$W_t =$ 5178

$\gamma =$ 200-250 тыс. часов

$K_f =$ 0,56349

Рассчитать

Справка

Металл контролируемого элемента может работать без проведения ремонтно-восстановительных работ.

Рис. 5. Пример расчета комплексного критерия предельного состояния длительно работающего металла, образец №1

Оценки работающего металла

Проверить соединение

Соединения паропроводов Барабаны котлов Длительно работающий металл

Комплексный критерий предельного состояния длительно работающего металла

$W_0 =$ 5134 Датчик: 6 МГц

$W_f =$ 5219 Марка: Сталь 20

$W_t =$ 5195

$\gamma =$ 200-250 тыс. часов

$K_f =$ 0,77864

Рассчитать

Справка

Металл достиг предельного состояния.

Рис. 6. Пример расчета комплексного критерия предельного состояния длительно работающего металла, образец №2

Для других образцов при помощи автоматизированной системы управления процессом неразрушающего контроля рассчитаны значения комплексного критерия предельного состояния длительно работающего металла: образец № 3 – $K_f = 0,88$; образец № 4 – $K_f = 0$; образец № 5 – $K_f = 0,5$; образец № 6 – $K_f = 0,7$; образец № 7 – $K_f = 0,89$.

Таким образом, без проведения ремонтно-восстановительных работ могут эксплуатироваться образцы №№ 1, 4 и 5, для образцов №№ 2, 3, 6 и 7 необходимо проведение ремонтно-восстановительных работ.

Выводы

1. В рамках данной работы была рассмотрена интеллектуальная автоматизированная система управления процессом неразрушающего контроля, в целях повышения эффективности технологии неразрушающего контроля металла гибов паропроводящих и воопускных труб.

2. Алгоритм работы системы основан на выявлении закономерностей изменения структурно-фазового состояний и полей внутренних напряжений в основном металле, в сварных соединениях с использованием методов структуроскопии.

3. Данная система позволит своевременно находить существующие дефекты на опасных производственных объектах, а также давать оценку возможности появления новых, что в свою очередь положительным образом скажется на безопасности труда и повлечет значительный экономический эффект.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, соглашение № 18-37-00356.

Список литературы

1. Шкляр, М. И. Некоторые особенности выделения структурно свободного графита в сварных соединениях паропроводов из углеродистой стали / М. И. Шкляр В. Н. Осмаков, Г. М. Едачев // Теплоэнергетика. – 1999. – № 5. – С. 21–26.

2. РД 34.17.421-92. Типовая инструкция по контролю и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепло-вых электростанций.

3. СТО-021-21-21-2003. Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов тепловых электрических станций. Контроль состояния металла. Нормы и требования.

4. Смирнов А. Н., Абабков Н. В. Критерии оценки состояния и ресурса длительно работающих барабанов котлов высокого давления // Сварка и диагностика, 2013. – № 4. – С. 55–59.

5. Абабков, Н. В. Оценка работоспособности и ресурса металла потенциально-опасного оборудования ТЭС после длительной эксплуатации спектрально-акустическим методом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (110). – С. 53–59.

6. Смирнов, А. Н. Анализ физико-механических показателей и состояния длительно работающего металла энергооборудования / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, А. С. Глинка и др. // Упрочняющие технологии и покрытия, 2011. – № 11 (83). – С. 40–48.

7. Смирнов, А. Н. Разрушение и диагностика металлов / А. Н. Смирнов, В. В. Муравьев, Н. В. Абабков. – Москва-Кемерово: Инновационное машиностроение. 2016. – 479 с.

8. Абабков, Н. В. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления / Н. В. Абабков, Н. И. Кашубский, В. Л. Князьков и др., под общ. ред. Смирнова А. Н. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.