

УДК 621.9
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ
И ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ВИХРЕТОКОВЫХ СИГНАЛОВ
ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Е.Г. ЩУКИС, В.П. ЛУНИН
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
Москва, Россия

Анализ повреждений теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов (ПГ) на атомных электрических станциях (АЭС), изготовленных из аустенитной стали, выявил, что причинами выхода из строя ТОТ являются эксплуатационные коррозионные повреждения: коррозионная трещина, коррозионная язва, коррозионный питтинг и коррозионное пятно.

Для оценки состояния теплообменных труб ПГ проводится их контроль следующими методами: гидравлический с визуальным контролем протечек, гидравлический с дистанционным контролем протечек, гидравлический с люминесцентным индикаторным покрытием, пневмогидравлический аквариумный и вихретоковый контроль [1].

Наиболее эффективным методом оценки состояния теплообменных труб ПГ на данный момент является вихретоковый вид контроля (ВТК). ВТК позволяет выявить не только сквозные дефекты, но и дефекты различной глубины и размеров, что позволяет превентивно заглушить трубы с дефектами, которые еще не пропускают теплоноситель из первого контура во второй, но могут развиться до сквозных. Многочастотный ВТК ТОТ ПГ с использованием внутреннего проходного дифференциального преобразователя дает возможность проконтролировать трубы по всей длине, позволяет зафиксировать наличие дефекта, локализовать его и оценить глубину [2].

Многочастотный метод вихретокового контроля металла ТОТ ПГ применяется уже более 20 лет, но, несмотря на такой длительный срок, остаются проблемы с достоверностью получаемых результатов ВТК.

В связи с этим актуальной является задача исследования и разработки эффективных алгоритмов автоматической обработки вихретоковых сигналов, применение которых позволило бы повысить достоверность контроля. Для этого предлагается использовать математический аппарат нечеткой логики.

Для классификации и параметризации дефектов по вихретоковым сигналам была создана система, на вход которой подаются не сами сигналы, а наиболее значимые признаки сигнала.

Для решения задачи классификации дефектов на внешние, внутренние и сквозные, использован алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Входными данными системы являются значения фаз сигналов от дефектов. На выходе системы получаем класс дефекта: внешний, внутренний, сквозной.

Для построения системы параметризации, определения глубины дефекта, была выбрана гибридная технология адаптивной нейро-нечеткой системы заключений (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System - ANFIS), обладающая, по сравнению с другими методами, высокой скоростью обучения, простотой и показывающая более точные результаты прогнозирования.

Параметризатор был построен отдельно для «внутренних» дефектов и для дефектов, которые были классифицированы как «внешние» и «сквозные». На вход системы подаются значения фаз сигналов от дефектов при частотах контроля 60, 130 и 280 кГц. На выходе системы получаются значения глубины дефекта в процентах от толщины стенки теплообменной трубки.

Результат классификации экспериментальных сигналов от дефектов представлен в табл. 1. Погрешности параметризации представлены в табл. 2

Табл. 1. Классификация сигналов от дефектов

Результаты классификации внешних дефектов				
	Внеш.	Сквозн.	Внутрен.	Всего
100 %	3	18	0	21
75 %	21	0	0	21
40 %	21	0	0	21
20 %	21	0	0	21
Всего	66	18	0	84

Табл. 2 Погрешности параметризации

Среднеквадратическая погрешность параметризации внешних дефектов, (глубина в % от толщины ТОТ)	
100 %	0,4
75 %	2,3
40 %	4,8
20 %	10

Чем меньше фактическая глубина дефекта, тем сложнее ее определить. Максимальная ошибка параметризации составляет 10 %, средняя 3,5 %, глубину дефектов, фактическая глубина которых составляет 20 % и меньше ТОТ, определить не удалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обоснование требований к вихретоковому контролю теплообменных труб горизонтальных парогенераторов / В. А. Григорьев [и др.] // Докл. 7-го междунар. семинара по горизонтальным парогенераторам. – Подольск : ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2006. – С. 55–57.

2. **Кадников, А. А.** Опыт проведения вихретокового контроля теплообменных трубок / А. А. Кадников, А. В. Никоноров // Докл. 7-го междунар. семинара по горизонтальным парогенераторам. – ФГУДП «Атомэнергоремонт», 2006. – С. 65–67.