

Е.Г. ЩУКИС, В.П. ЛУНИН

ГОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТУ)»

Москва, Россия

В настоящее время требования к надежности эксплуатации атомных электростанций (АЭС) значительно повышаются. Одной из важнейших составляющих безопасной эксплуатации энергоблока АЭС с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР) является работоспособность парогенераторов (ПГ). Практика эксплуатации горизонтальных ПГ показала, что основным элементом, определяющим фактический срок службы этого объекта, являются теплообменные трубы (ТОТ) [1].

Для оценки состояния ТОТ ПГ проводится контроль целостности труб методом многочастотного вихретокового контроля (ВТК). Метод ВТК в общем случае позволяет зафиксировать наличие дефекта, его местоположение и глубину. Эти параметры определяются при использовании внутреннего проходного датчика, который является на данный момент наиболее производительным.

Анализ данных, полученных многочастотным ВТК, сопряжен со значительными трудностями, обусловленными наличием как множества мешающих факторов, так и шума в сигналах. Для успешного преодоления этих трудностей, надежного обнаружения дефектов, а также для решения задачи классификации и параметризации найденных дефектов исследуются и создаются различные алгоритмы анализа данных.

Основные этапы обработки вихретоковых сигналов приведены на рис. 1. Основная задача блока *предобработки* состоит в выделении фрагмента сигнала, содержащего диагностически значимую информацию (то есть сигнал от контролируемого участка ТОТ), и фрагмента сигнала от калибровочной трубки. *Эталонирование* исходных данных – процесс перевода данных из отсчетов АЦП прибора в физические величины (мВ) и масштабирование сигналов с целью приведения фазы сигналов от дефектов на калибровочных трубках к эталонным. Блок *фильтрации* предназначен для отстройки от влияния основных мешающих факторов. Для этого используются медианный фильтр, фильтр Баттерворта и адаптивный фильтр Винера.

Для выделения диагностически значимых областей в сигнале в программах для обработки вихретоковых данных аналитик может вручную поставить рамки на «области интереса» или использовать встроенные в программы методы. Один из самых распространенных методов – это пороговые алгоритмы, при этом значение порога определяется, как правило,

экспериментально. Такой подход приводит к установке большого количества рамок на области, не соответствующие дефектам, так как в сигнале присутствует много мешающих факторов, например, дистанционирующие решетки, которые фиксируют ТОТ в заданном положении в парогенераторе, и гибы (места изгибов труб), амплитуда сигналов от которых превышает амплитуду сигналов от дефектов.

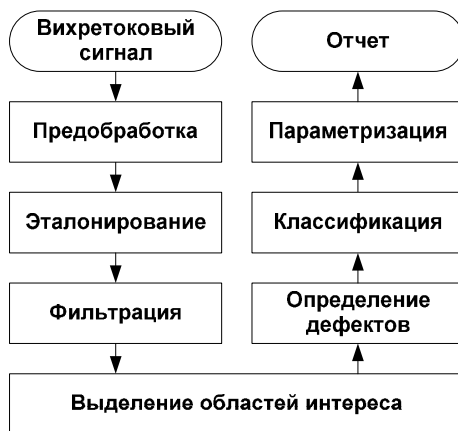


Рис. 1. Общая схема обработки вихретоковых сигналов

Для выделения областей интереса в работе предлагается использовать вейвлет-преобразование [2]. Выделение областей интереса происходит в два этапа, при этом на первом этапе в сигнале выделяются конструктивные элементы (рис. 2). Для этого к сигналу на частоте 60 кГц (в этом случае сигнал наиболее чувствителен к наличию электропроводящих элементов на внешней поверхности трубы) применяют дискретное вейвлет-преобразование и анализируют детализирующие коэффициенты. На втором этапе, после определения конструктивных элементов, на частоте 130 кГц выделяются сигналы от дефектов или сигналы, имеющие похожую форму. Затем отдельно анализируется область сигнала, соответствующая конструктивным элементам, на наличие дефектов. Предлагается методика выделения сигналов от дефектов под дистанционирующими решетками на основе непрерывного вейвлет-преобразования с использованием вейвлетов Гаусса.

Выделенные области, предположительно, соответствующие дефектам, затем проверяются повторно, и если фаза от сигнала не попадает в заданные границы, то сигнал не относится к дефекту. Границы изменения фазы сигналов были установлены из анализа имеющейся базы данных сигналов от дефектов [3]. База данных периодически пополняется сигналами от реальных дефектов, параметры которых известны.

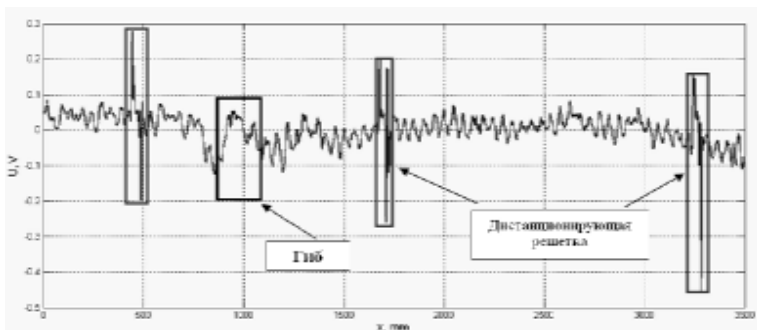


Рис. 2. Вихретоковый сигнал на частоте 130 кГц, мнимая составляющая. Рамками автоматически были выделены сигналы от решеток игиба

Алгоритмы классификации и параметризации на основе нечеткой логики были созданы как альтернатива искусственным нейронным сетям, которые также применяются для анализа вихретоковых сигналов.

Предложенные алгоритмы были настроены и проверены на базе данных, состоящей из сигналов от модельных дефектов, полученных на конечно-элементной модели [3], а также экспериментальных сигналов. Сравнение результатов применения нечеткой логики с результатами металлографического исследования реальных дефектов ТОТ [4], вырезанных из парогенератора, показало, что погрешность определения глубины дефекта вполне удовлетворительная и не превышает 20 % от толщины стенки трубы.

Применение нечеткой логики эффективно и по результативности не уступает применению нейронных сетей. В дальнейшем планируется развитие программы обработки вихретоковых данных, исследование методов для уменьшения погрешности определения параметров дефекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт эксплуатации ПГ АЭС с ВВЭР / Н. Б. Трунов [и др.] // Сб. тр. конференции ВАНУ-МАГАТЭ. – Кузнецовск, 2002. – С. 25–29.
2. **Леоненков, А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech / А. В. Леоненко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
3. Lunin V.P., Zhdanov A.G. Inversion of Eddy Current Field Data for In-service Inspection of WWER Steam Generator Tubes. 51st International Scientific Colloquium: Proceedings Ilmenau, Germany, 2006, pp.135–136.
4. **Беляков, В. А.** Анализ и оценка данных ВТК теплообменных труб парогенераторов Кольской АЭС / В. А. Беляков, С. В. Смирнов. // 7-ой междунар. семинар по горизонтальным парогенераторам: тез. докл., Подольск, Россия, октябрь 2006 г. – С. 49–51.

E-mail: ShchukisEG@gmail.com

Valery.Lunin@mtu-net.ru