



## THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF EDDY CURRENT TESTING SYSTEM FOR LARGE OBJECTS

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Проф., д.т.н. Куц Ю.В.<sup>1</sup>, доц., к.т.н. Петрик В.Ф.<sup>2</sup>, аспирант Лысенко Ю.Ю.<sup>2</sup>, аспирант Дугин А.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт информационно – диагностических систем, Национальный авиационный университет – Киев, Украина

<sup>2</sup> Приборостроительный факультет, Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт” – Киев, Украина

e-mail: j.lysenko@kpi.ua

**Abstract:** *In this paper some current problems of large objects nondestructive testing are discussed. The implementation of system for eddy current testing of large objects using a wireless Bluetooth module was proposed. The experimental results of impulse operation mode are given. The using of signal frequency and attenuation as information parameters of testing are shown.*

**KEY WORDS:** *PULSED EDDY CURRENT MODE, HILBERT TRANSFORM, FREQUENCY AND ATTENUATION OF SIGNAL*

### 1. Введение

Одним из наиболее распространенных видов контроля крупногабаритных изделий из электропроводящих материалов является вихретоковый неразрушающий контроль (ВТНК).

Расширение номенклатуры объектов контроля (ОК) и применение новых материалов требуют постоянного развития и совершенствования методов и средств НК. Этот процесс в последнее время развивается по нескольким направлениям. Во-первых, все больше внимания уделяется многочастотным методам ВТНК, позволяющим проводить многопараметровый контроль. Во-вторых, все шире исследуются возможности применения импульсного режима работы вихретоковых преобразователей (ВТП), который способствует расширению функциональных возможностей контроля. В-третьих, постоянно ведутся работы по усовершенствованию ВТП, в частности, в [1] приводятся результаты разработки и исследований мультидифференциальных преобразователей, позволяющих увеличить чувствительность к дефектам.

Реализация ВТНК часто наталкивается на трудности технологического характера, связанные с большими габаритами ОК и ограниченностью доступа к его отдельным участкам. В таких условиях задача выполнения ВТНК в труднодоступных местах ОК становится особенно актуальной.

Такую задачу можно решить путем применения беспроводных технологий передачи сигналов ВТНК от первичных преобразователей к блокам обработки данных [2]. Это позволяет разделить пространственно преобразовательную часть и блок обработки сигналов, что значительно упрощает практическую реализацию контроля крупногабаритных ОК в труднодоступных местах. Однако все эти вопросы не рассматривались комплексно в рамках разработки одного средства контроля.

Определенный интерес представляет также вопрос применения в средствах ВТНК различных методов цифровой обработки сигналов (ЦОС). Так в работе [3] предложено использование преобразования Гильберта для получения амплитудной и фазовой характеристик сигнала (АХС и ФХС) ВСНК [4] и их анализ.

Целью работы является разработка и анализ экспериментального макета беспроводной системы ВТНК,

реализующей различные режимы контроля и различные методы обработки и отображения информации.

### 2. Постановка задачи

Необходимо предложить и реализовать структуру системы ВТНК с беспроводной связью преобразовательной части и блока обработки, которая должна обеспечивать:

- возможность контроля объектов в местах недоступных для стандартных средств ВТНК;
- реализацию различных режимов вихретокового контроля;
- адаптивный выбор способа и алгоритма обработки сигналов ВТНК;
- визуализацию результатов контроля в виде 2D и 3D графиков;
- архивирование результатов контроля с последующей их загрузкой в базу данных.

### 3. Описание разработанной системы

Реализация беспроводного режима в разработанной системе выполнена на базе Bluetooth модуля, который обеспечивает связь между блоками обработки и преобразования на расстоянии до 300 метров. На рис. 1 приведена структура системы. Преобразовательный блок состоит из ВТП, на первичную катушку которого через усилитель мощности поступает сигнал в зависимости от режима контроля. Синтезатор частоты СЧ используется для режима возбуждения ВТП сигналом гармонической формы, а формирователь прямоугольных импульсов ФПИ – для импульсного режима работы. С измерительной катушки ВТП сигнал усиливается и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем АЦП. Полученные данные записываются в буфер памяти для последующей передачи в блок обработки. Эта передача осуществляется через микроконтроллер МК и беспроводной модуль БМ связи Bluetooth. Синхронизация работы основных элементов блока преобразования обеспечивается блоком управления БУ.

Блок обработки включает приемник (Пр), персональный компьютер (ПК) со специальным программным обеспечением (ПО).

#### 4. Обсуждение полученных результатов

Проверка работоспособности системы и проведение экспериментов выполнялись для импульсного режима работы. Программное обеспечение системы было разработано в среде Matlab, и реализовывало алгоритм анализа сигналов ВТНК во временной области на базе преобразования Гильберта. Информационный сигнал с ВТП представляет собой отклик-реакцию системы «ВТП-ОК» на фронт возбуждающего сигнала и допускает представление моделью (1):

$$u_{\text{ВТП}}(t) = U_m e^{-\alpha \cdot t} \cdot \cos 2\pi \cdot f \cdot t + u_{\text{ш}}(t), \quad t \in (t_1, t_2), \quad (1)$$

где  $U_m$  – амплитудное значение информационной составляющей сигнала ВТП,  $\alpha$  – декремент сигнала,  $f$  – частота колебаний сигнала ВТП,  $t$  – текущее время,  $(t_1, t_2)$  – интервал времени анализа сигнала ВТП (реакции на скачок амплитуды возбуждающего сигнала),  $U_{\text{ш}}(t)$  – шумовая составляющая сигнала (реализация гауссовского шума с дисперсией  $\sigma^2$  и нулевым матожиданием). Пример одного из сигналов ВТП приведен на рис. 2.

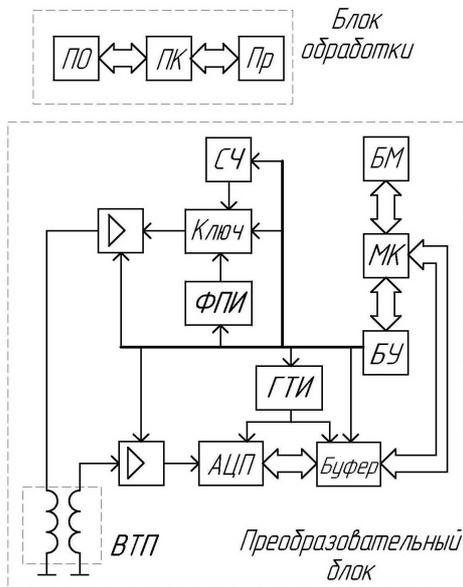


Рис.1. Вихретоковая система контроля крупногабаритных изделий

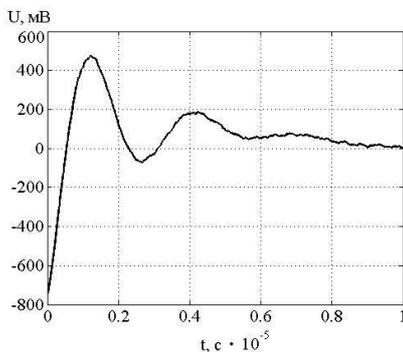


Рис.2. График участка сигнала ВТП

Для тестирования системы использовался образец в виде пластины из слабомагнитной стали с дефектами типа трещин, с раскрытием  $h \in (0.1 \div 1.0)$  мм и глубиной 0.5 мм, и ВТП трансформаторного типа с ферритовым сердечником, радиуса  $r = 5$  мм. Частота дискретизации сигнала АЦП -  $f_{\text{д}} = 32$  МГц.

Обработка и анализ характеристик сигналов ВТП включали определение их гильберт-образов согласно формулы:

$$u_H [t] = \mathbf{H}[u_{\text{ВТП}} [t]], \quad (2)$$

где  $\mathbf{H}$  - оператор дискретного преобразования Гильберта. Амплитудная и фазовая характеристики [4, 5] сигналов определялись соответственно как:

$$\hat{U}[t] = \sqrt{u_{\text{ВТП}}^2 [t] + u_H^2 [t]}, \quad (3)$$

$$\hat{\Phi}[t] = \arctg \frac{u_H}{u_{\text{ВТП}}} + \mathbf{L}(u_H [t], u_{\text{ВТП}} [t]), \quad (4)$$

где  $\mathbf{L}$  - оператор развертывания ФХС за пределами интервала однозначности функции  $\arctg$ .

Предложено в качестве информационных параметров использовать декремент  $\alpha(h)$  и частоту  $f(h)$  сигнала ВТП. Определение декремента сигнала производилось по АХС согласно формулы:

$$\alpha(h) = \frac{1}{\Delta T} \ln \frac{\hat{U}(t_1, h)}{\hat{U}(t_2, h)} \quad (5)$$

где  $\hat{U}(t_1, h)$ ,  $\hat{U}(t_2, h)$  – значения АХС соответственно в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ . На рис. 3 приведен график полученной зависимости  $\alpha = F(h)$ , который указывает на увеличение декремента сигнала ВТП для дефекта по сравнению с бездефектным участком.

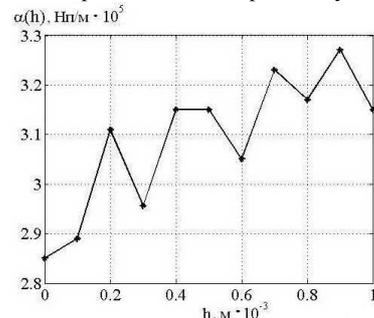


Рис.3. Зависимость декремента сигнала ВТП от размера трещины

Определение частоты сигнала ВТП выполнялось по ФХС:

$$f(h) = \frac{\Delta \hat{\Phi}[h]}{2\pi \Delta T}, \quad (6)$$

где  $\Delta \hat{\Phi}[h]$  – фаза информационного сигнала ВСП, накопленная за время  $\Delta T$  (например за время  $(t_2 - t_1)$ ). Полученные данные приведены в качестве графиков (рис. 4) зависимости частоты сигнала ВТП как функции от ширины раскрытия трещины.

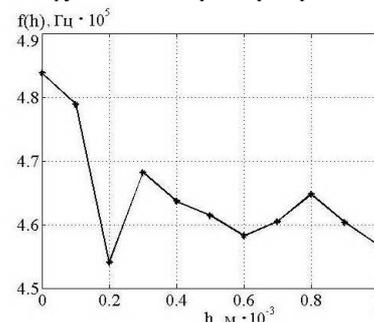


Рис.4. График зависимости частоты сигнала ВТП от размера трещины

#### 4. Заключение

Предложенная система ВТНК дает возможность исследовать объекты больших габаритов в труднодоступных местах за счет небольших размеров преобразовательного блока, и использования беспроводной связи Bluetooth. Показана возможность использования в импульсном ВТНК таких параметров как декремент и частота колебаний

информационного сигнала. Установлен общий характер зависимости этих параметров от раскрытия дефекта.

## 5. Литература

1. Учанин В.Н. Вихретоковые мультимодальные преобразователи и их применение / В.Н. Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006ю - №3. – с. 34-41.

2. Дугін О.Л. Мобільний вихрострумний дефектоскоп / Дугін О.Л., Кустовський О.Л., Петрик В.Ф. // Сучасні методи та

засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики: XX-та Міжнар. конф. та вист., 01 - 05 жовтн. 2012 р. – 2012. – с. 239.

3. Лисенко Ю.Ю. Дослідження імпульсного режиму збудження вихрострумних перетворювачів / Лисенко Ю.Ю., Куц Ю.В. // НК та технічна діагностика - UkrNDT-2012: VII Нац. наук.-техн. конф., 20 - 23 лист. 2012 р. – 2012. – с. 162-163.

4. Куц Ю.В. Статистична фазометрія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак. – Тернопіль: Тернопільський державний університет ім. І. Пулюя, 2009. – 383 с.

5. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.: ил.