

ВИХРЕТОКОВЫЙ ДЕФЕКТΟΣКОП ВД-12НФП И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕННОГО СИГНАЛА ОТ ДЕФЕКТА

А.Н. Бизюлев, В.Ф. Мужичкий, Р.В. Загидулин, А.Г. Ефимов, А.М. Сысоев

Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФП [1] (рис. 1) является современной модификацией вихретокового дефектоскопа ВД-12НФМ [2, 3] и предназначен для обнаружения поверхностных трещин в изделиях из ферромагнитных и немагнитных сталей и сплавов.

Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФП отличается микропроцессорной системой сбора, хранения и обработки данных. Характерной особенностью прибора является визуализация сигнала от дефекта на дисплее дефектоскопа (рис. 2), что облегчает его настройку и позволяет повысить достоверность контроля. В конструкции дефектоскопа применена современная элементная база.

Прибор укомплектован тремя преобразователями накладного типа (рис. 3), рабочий торец которых, как и у своего предшественника, оснащен корундовым наконечником для повышения износостойкости, что позволяет его использовать для контроля изделий с повышенной шероховатостью поверхности – $R_z \leq 320$.

Преобразователи типа 1 и типа 2 используются для контроля ферромагнитных материалов, преобразователь типа 3 – для контроля немагнитных материалов.

Дефектоскоп обеспечивает обнаружение дефектов при зазоре до 3 мм между преобразователем и поверхностью контролируемого изделия с радиусом кривизны не менее 10 мм и угле отклонения оси преобразователя от нормали к контролируемой поверхности до 30 град.

Для индикации дефекта используются звуковая и световая (на преобразователях) сигнализации, а также графическая индикация на дисплее дефектоскопа. Дефектоскоп имеет возможность оценки степени опасности (глубины) дефекта по показаниям индикатора с использованием стандартных образцов.

В приборе предусмотрено 5 программ для сохранения его настроек при контроле конкретных изделий, автоматическое определения типа подключенного преобразователя с установкой параметров контроля. Дефектоскоп ВД-12НФП снабжен встроенной памятью для сохранения результатов контроля с последующей передачей данных в персональный компьютер по инфракрасному каналу и распечаткой протокола контроля, приведенного, как пример, на рис. 4.

При использовании дефектоскопа в автоматизированных линиях передача данных в персональный компьютер может осуществляться в режиме реального времени.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Порог чувствительности дефектоскопа – выявление поверхностного протяженного искусственного дефекта типа риски на стандартном образце из ферромагнитного материала:
 - при шероховатости поверхности $R_z \leq 320$ и зазоре до 3 мм:
 - глубина дефекта – $3,0 \pm 0,1$
 - ширина дефекта – $0,1 \dots 0,3$
 - при шероховатости поверхности $R_a \leq 1,25$ и зазоре до 0,5 мм:
 - глубина дефекта – $0,5 \pm 0,05$
 - ширина дефекта – $0,05 \dots 0,15$
- Порог чувствительности дефектоскопа – выявление поверхностного протяженного искусственного дефекта типа риски на стандартном образце из немагнитного материала:
 - при шероховатости поверхности $R_z \leq 160$ и зазоре до 0,2 мм:
 - глубина дефекта – $1,5 \pm 0,1$
 - ширина дефекта – $0,05 \dots 0,15$
 - при шероховатости поверхности $R_a \leq 1,25$ и зазоре до 0,2 мм:
 - глубина дефекта – $0,5 \pm 0,05$
 - ширина дефекта – $0,05 \dots 0,15$
- Предел допускаемой абсолютной погрешности оценки степени опасности (глубины) дефекта в диапазоне глубин от 0,5 до 3 мм
не более: – $\Delta = \pm(0,1 + 0,3X)$ мм,
где X – оцениваемая глубина дефекта
- Скорость сканирования изделия, м/с – $0,02 \dots 0,1$
- Частота тока возбуждения преобразователя – 70 ± 5 кГц
- Электропитание – от 4-х аккумуляторов типа АА
- Ток потребления от полностью заряженных аккумуляторов не более, мА:
 - при выключенной подсветке дисплея – 90
 - при включенной подсветке дисплея – 250
- Время установления рабочего режима
не более, мин – 1

- Продолжительность непрерывной работы
не менее, ч. – 8
- Дефектоскоп имеет встроенную память, разбитую на ячейки
 - Общий объем памяти, байт – 32768
 - Максимальное количество ячеек – 120
- Связь с персональным компьютером – по инфракрасному каналу
- Диапазон рабочих температур, °С – от –10 до +40
- Габаритные размеры, мм:
 - электронного блока – 190×150×70
 - преобразователя (диаметр×длина) – 20×130
- Масса не более, кг:
 - электронного блока – 0,9
 - любого преобразователя – 0,1.

Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФП прошел производственные испытания и сертифицирован органами Госстандарта РФ (сертификат соответствия № 03.01.0041) и внесен в Отраслевой реестр средств измерений, допущенных к применению на железнодорожном транспорте.

Контроль реальных изделий вихретоковым методом связан с необходимостью отстройки от влияющих факторов, вызванных состоянием их поверхности. В этом случае имеют место искажения измеренного магнитного поля дефекта, что может существенным образом снизить достоверность контроля. Поэтому требуется обработка измеренного сигнала с целью устранения в нем случайных помех, постоянных составляющих и восстановления его истинных значений.

Наличие в измеренном сигнале низкочастотной составляющей (тренд), длительность которой намного превышает ширину топографии магнитного поля дефекта, затрудняет распознавание сигнала от дефекта. В общем случае тренд $H_T(x)$ измеренного сигнала можно интерполировать полиномом степени K [4]:

$$H_T(x) = \sum_{k=0}^K B_k x^k. \quad (1)$$

Коэффициенты B_k в формуле (1) определяются методом наименьших квадратов, на основе минимизации функционала [4]:

$$F = \sum_{i=1}^N \left(H_z^H(x_i, z) - H_T(x_i) \right)^2, \quad (2)$$

где $H_z^H(x, z)$ – измеренное магнитное поле дефекта; N – количество измеренных точек.

Качество восстановления исходного сигнала определяется отношением его длительности к ширине топографии магнитного поля дефекта. На рис. 5 показана дефектограмма до и после удаления полиномиального тренда 4-го порядка, снятая с помощью вихретокового дефектоскопа ВД-12НФП на образце с искусственным дефектом.

Как следует из приведенных на рис. 5 кривых, после удаления тренда измеренный сигнал имеет более удобную для дальнейшего анализа форму.

Для сигналов малой длительности (соизмеримых с шириной топографии магнитного поля дефекта) удаление полиномиального тренда порядка $K \geq 2$ приводит к тому, что тренд начинает воспроизводить форму сигнала.

В области распределения магнитного поля дефекта $n \in [165..203]$ на рис. 5 тренд сигнала близок к линейному (рис. 6) [4]:

$$H_T(x) = H_z^H(x_1, z) + \frac{H_z^H(x_N, z) - H_z^H(x_1, z)}{x_N - x_1}(x - x_1). \quad (3)$$

Для удаления случайных помех из измеренного сигнала наиболее перспективным является использование методов цифровой фильтрации, которые, с одной стороны, обеспечивают большую точность и помехоустойчивость аппаратуры, а с другой – позволяют реализовать схемы цифровых фильтров на основе микропроцессоров.

Важным моментом при использовании цифровой фильтрации является выбор оконных функций, которые широко применяются при спектральном анализе сигналов. Обработка с помощью окон используется для управления эффектами, обусловленными наличием боковых лепестков в спектре сигнала. Поэтому в зависимости от вида оконной функции полученный сигнал будет в той или иной степени отличаться от исходного.

Практика показывает, что наиболее целесообразным является конструирование оптимальной оконной функции для решения конкретных задач, а не выбор одной из числа уже известных. Применительно к исследованию магнитных полей дефектов одной из наиболее эффективных является параметрическая оконная функция, полученная из аналитического выражения магнитного поля токовой модели внутреннего дефекта, состоящей из двух противоположно текущих линейных токов [5]:

$$w(x) = \frac{H_z(x, z)}{H_{zm}(x, z)} = \left[\frac{p_1}{(x - \Delta x)^2 + p_1^2} - \frac{p_2}{(x - \Delta x)^2 + p_2^2} \right] \frac{p_1 p_2}{p_2 - p_1}, \quad (4)$$

где p_1, p_2 – глубины залегания токов ($p_1 < p_2 \neq 0$); Δx – координата расположения токов.

Изменяя параметры p_1 и p_2 оконной функции (4) можно существенным образом изменять ее характеристики, добиваясь оптимального результата в подавлении случайного

шума в измеренном сигнале. При этом они могут перекрывать практически весь интервал характеристик, присущих стандартным окнам.

На рис. 7 представлены результаты цифровой фильтрации с использованием параметрической оконной функции для случая наложения на исходный сигнал случайного шума.

Как следует из рис. 7, применение цифровой фильтрации обеспечивает вполне удовлетворительные результаты при восстановлении исходного сигнала.

Особые трудности возникают при измерении магнитного поля дефекта с повышенным зазором (рис. 8), когда спектр помех практически не отличается от спектра полезного сигнала. В этом случае обычные методы частотной фильтрации не дают приемлемых результатов.

Одним из возможных путей решения данной проблемы является применение методов корреляционной обработки в совокупности с цифровой фильтрацией, где в качестве опорного сигнала используется теоретическая модель дефекта. С целью приведения опорного и измеренного сигналов к одному масштабу используется их нормирование. На основе нормированных сигналов рассчитывается корреляционная функция [6]:

$$\rho = \sum_{i=1}^N H_{z \text{ норм}}^O(x_i, z) H_{z \text{ норм}}^H(x_i, z), \quad (5)$$

где $H_{z \text{ норм}}^O(x_i, z)$ – опорный сигнал; $H_{z \text{ норм}}^H(x_i, z)$ – измеренный сигнал; N – количество измеренных точек сигнала.

Использование амплитудно-широтной обработки, основу которой составляет фильтрация сигнала по соотношению «Амплитуда/Длительность импульса» позволяет существенным образом повысить соотношение «Сигнал/Шум», а следовательно улучшить распознавание сигнала от дефекта на фоне помех (рис. 9).

Предложенные цифровые методы обработки информации успешно используются в созданных вихретоковых дефектоскопах типа ВД-12НФП, выпускаемых «ЗАО НИИИН МНПО «СПЕКТР».

ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр"

Поступила в редакцию
_____ декабря 2003 г.

Зам. директора
Москва)
Зав. сектором

В.Ф. Мужижкий (ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр",

А.Н. Бизюлев (ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр")

Р.В. Загидулин

Инженер

А.Г. Ефимов (ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр")

М.н.с.

А.М. Сысоев (ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр")

ЛИТЕРАТУРА

1. Бизюлев А.Н., Мужичкий В.Ф., Загидулин Р.В. Разработка средств вихретоковой дефектоскопии с повышенной разрешающей способностью./ В кн.: XVI Российская научно-техническая конференция "Неразрушающий контроль и диагностика", Санкт-Петербург, 9-12 сентября 2002.
2. Мужичкий В.Ф., Калинин Ю.С., Малышев С.П., Сосницкая Т.А. Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФМ для контроля узлов и деталей подвижного состава на железнодорожном транспорте. – Дефектоскопия, 2000, №7, с. 91-92.
3. Бизюлев А.Н., Калинин Ю.С., Мужичкий В.Ф., Сосницкая Т.А. Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФМ. – Контроль. Диагностика, 2003, №4, с. 29-30.
4. Загидулин Р.В., Мужичкий В.Ф. К вопросу предварительной обработки измеренного сигнала магнитного поля дефекта сплошности. – Дефектоскопия, 1998, №5, с. 32-40.
5. Загидулин Р.В., Мужичкий В.Ф., Бизюлев А.Н. К выбору оконной функции при математической обработке измеренного магнитного поля дефекта в ферромагнитном изделии. – Дефектоскопия, 2002, №6, с. 59-64.
6. Савенков Д.В., Бизюлев А.Н., Калинин Ю.С. О повышении соотношения сигнал/шум при контроле магнитным и электромагнитным методами. – Контроль. Диагностика, 2000, №10, с. 24-27.

Рисунки



Рис. 1



Рис. 2

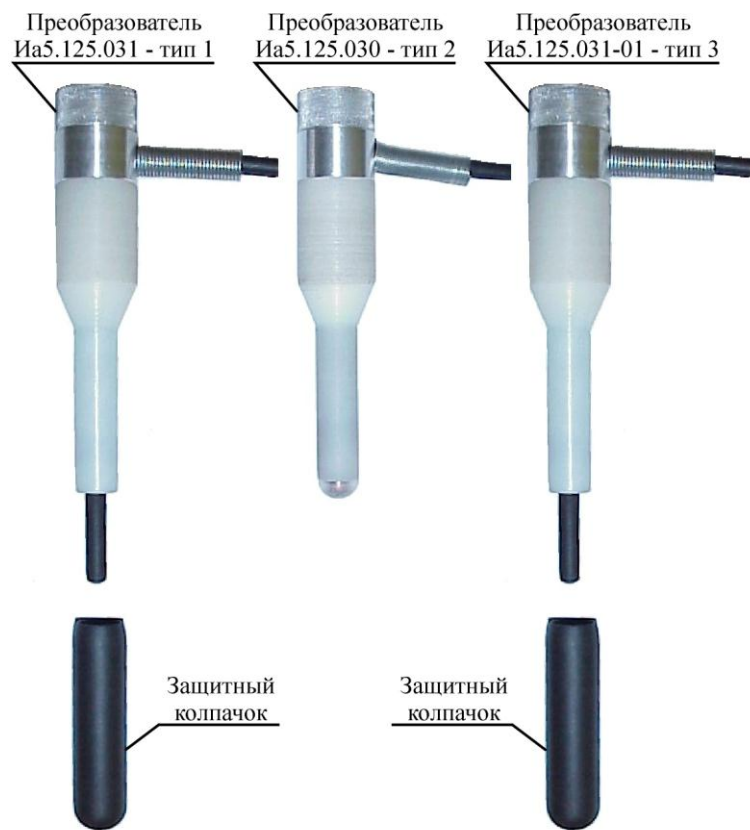


Рис. 3

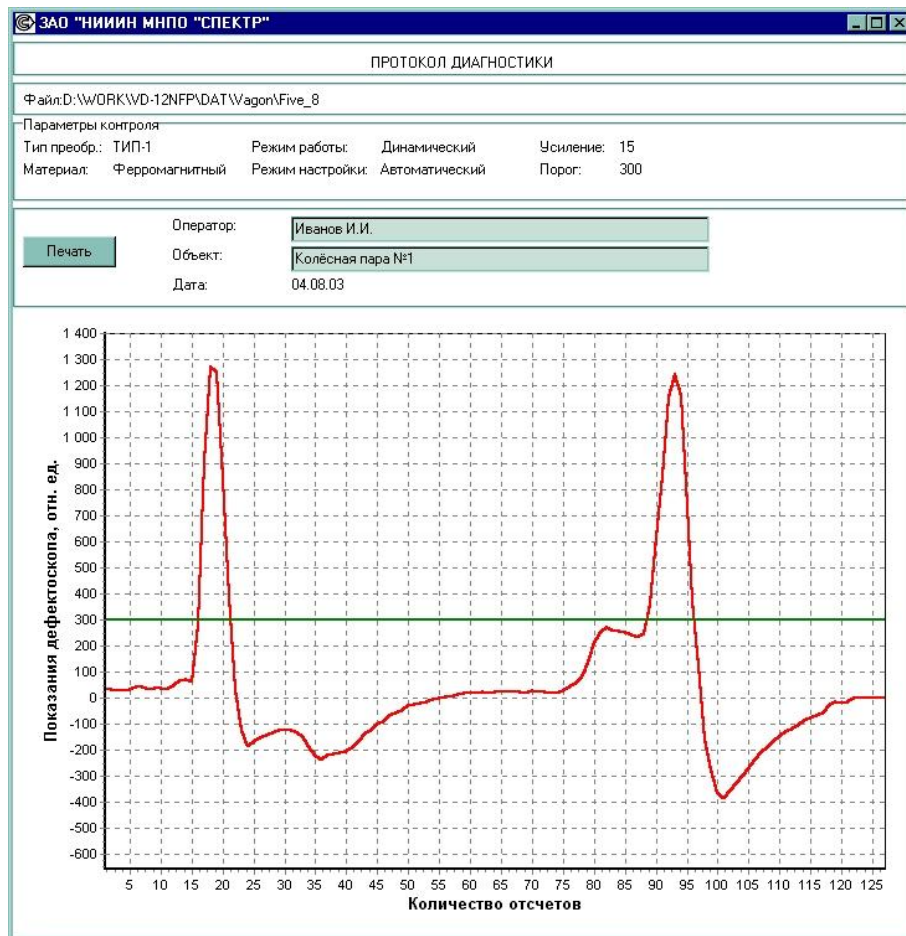


Рис. 4

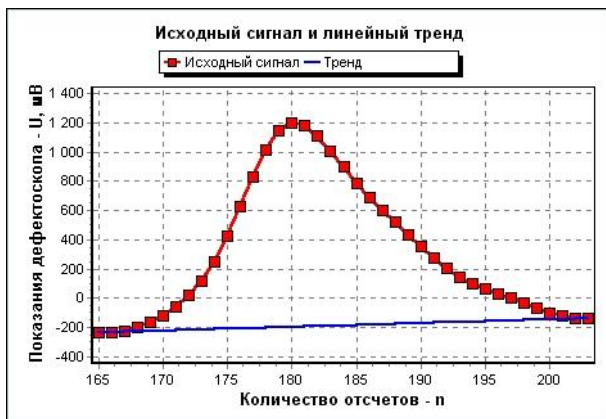


а)

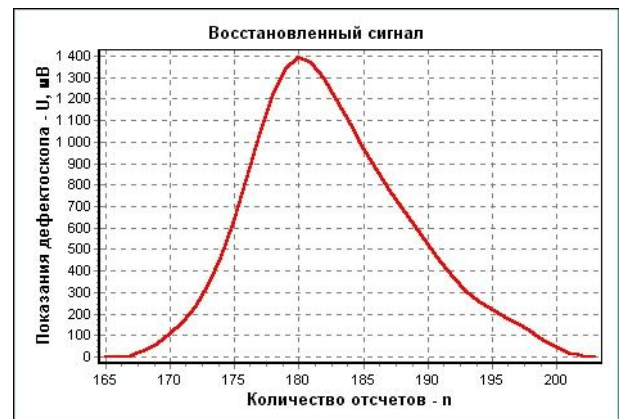


б)

Рис. 5



а)



б)

Рис. 6

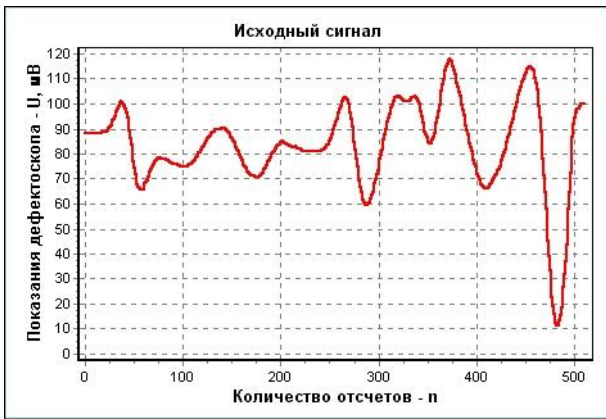


а)



б)

Рис. 7

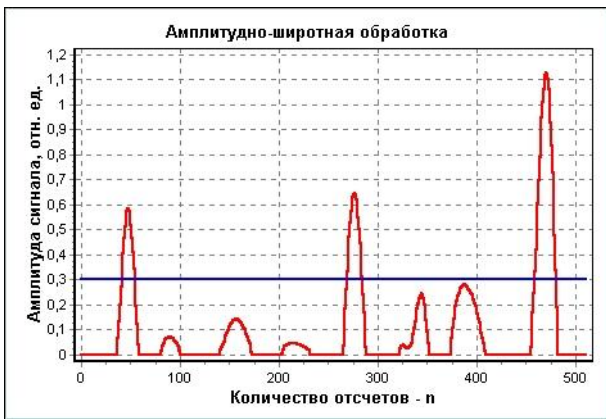


а)

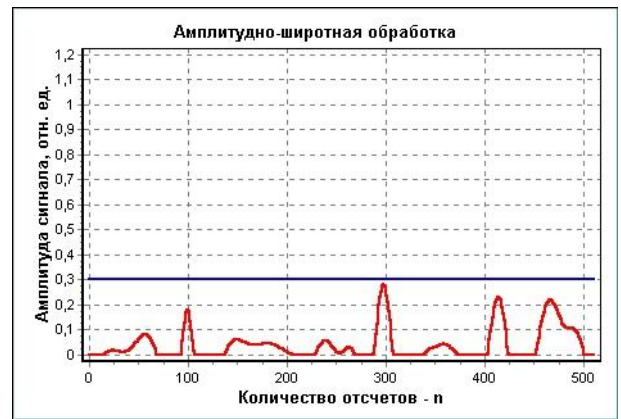


б)

Рис. 8



а)



б)

Рис. 9

Надписи к рисункам

Рис. 1. Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФП

Рис. 2. Представление результатов контроля

Рис. 3. Комплект преобразователей для дефектоскопа ВД-12НФП

Рис. 4. Протокол диагностики изделия

Рис. 5. Сигнал до а) и после б) удаления полиномиального тренда 4-го порядка

Рис. 6. Сигнал до а) и после б) удаления линейного тренда

Рис. 7. Исходный сигнал при наложении случайного шума а) и его цифровая фильтрация

Рис. 8. Дефектограммы, снятые на образцах насосных штанг
а) образец с тремя поверхностными дефектами; б) образец без дефектов

Рис. 9. Амплитудно-широтная обработка сигнала
а) образец с тремя поверхностными дефектами; б) образец без дефектов

АВТОРЕФЕРАТ

Рассмотрены область применения, особенности работы и основные технические характеристики вихретокового дефектоскопа ВД-12НФП. Приведены методы цифровой обработки информации, улучшающие распознавание сигнала от дефекта на фоне помех.