

УДК 621.791:620.179.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ТРЕЩИНЫ В СВАРНОМ ШВЕ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Р. А. Бадамшин¹, Т. Р. Загидулин², А. В. Коннов³

¹badam@ugatu.ac.ru, ²ztr@post.com, ³molkon@bk.ru

^{1,2} ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

³ ЗАО «Научно-производственный центр «Молния», Москва

Поступила в редакцию 22.05.2013

Аннотация. Исследовано прямое и обратное вейвлетное преобразование сигнала дифференциального вихретокового преобразователя, измеренного над сварным швом с дефектом сплошности типа трещины. Показана возможность восстановления значений сигнала над трещиной и повышения выявляемости дефектов сплошности в сварном шве стального изделия.

Ключевые слова: измеренный сигнал; вейвлетное преобразование; обратное вейвлетное преобразование; дифференциальный вихретоковый преобразователь; дефект сплошности; сварной шов

ВВЕДЕНИЕ

Контроль качества сварных соединений является одной из сложных задач неразрушающего контроля стальных изделий и металлоконструкций для решения которой используются рентгеновские, акустические и электромагнитные методы [1]. Последние из них относятся к классу многопараметровых методов, поэтому представляются наиболее информативными и надежными [2, 3]. Однако сложность данной задачи связана с влиянием на результаты электромагнитного контроля таких факторов, как сложный профиль поверхности стального изделия со сварным швом, существенное изменение электромагнитных параметров металла в сварном шве и околошовной зоне стального изделия и т. д. [4, 5].

На практике влияние указанных факторов на величину и распределение сигнала вихретокового преобразователя (ВТП) электромагнитного дефектоскопа над сварным швом, как правило, значительно превышает по величине сигнал от дефекта сплошности, расположенного в валике усиления сварного шва, что существенно затрудняет выявление и распознавание дефектов сплошности сварного шва.

Очевидно, что при наличии сварного шва существенно снижается эффективность автоматизированных систем электромагнитного контроля качества металлоконструкций и стальных

изделий, которые основаны на выявлении дефектов сплошности по превышению величины измеренного сигнала ВТП предварительно заданного порогового уровня [6].

Применение аналоговых фильтров (на аппаратном уровне) и спектральных методов анализа (на программном уровне) измеренного сигнала ВТП для исключения мешающего влияния сварного шва не дают положительного эффекта. Это связано с тем, что спектры сигналов ВТП над бездефектным электросварным швом и сварным швом с дефектом сплошности металла являются широкополосными (рис. 1). Поэтому подавление какой-либо части спектра в процессе фильтрации измеренного сигнала ВТП над сварным швом неизбежно приводит к искажению величины и распределения сигнала ВТП над дефектом сплошности.

В работах [4, 5] для повышения точности оценки геометрических параметров дефекта в сварном шве осуществляется коррекция фазы сигнала ВТП, искаженной за счет влияния неоднородности электромагнитных свойств околошовной зоны металла. Однако этот подход требует проведения большого объема предварительных исследований на образцах с дефектными сварными швами, чтобы определить величины поправок, необходимых для коррекции значений измеренного сигнала ВТП.

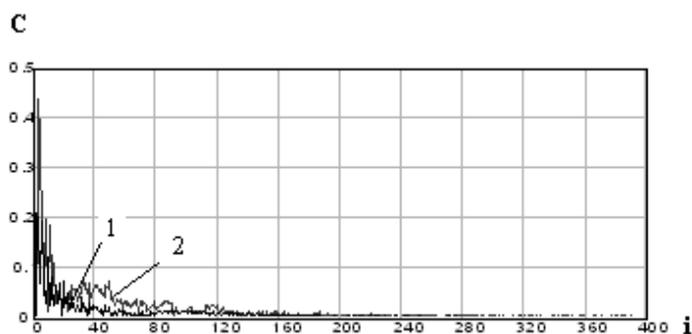


Рис. 1. Спектры сигнала дифференциального ВТП над сварным швом в стальной трубе:
1 – без дефекта, 2 – с дефектом сплошности

Поскольку распределение электромагнитных свойств металла в зоне термического влияния и в сварном шве зависит от большого числа неконтролируемых в процессе сварки случайных факторов [7, 8], то следует ожидать, что дисперсия полученных поправок для коррекции измеренного сигнала ВТП будет весьма велика, что негативно скажется на точности оценок.

В системах автоматизированного контроля стальных изделий и трубопроводов измерительные блоки ВТП имеют конечные линейные размеры, а также ограниченное число степеней свободы, вследствие чего в процессе сканирования сварного шва наблюдается неконтролируемое локальное изменение зазора между ВТП и поверхностью металла [9]. При этом сигнал ВТП может изменяться сложным и непредсказуемым образом в широком диапазоне значений, а также значительно превышать по величине полезный сигнал от дефекта сплошности в сварном шве (рис. 2, а; 3, а; 4, а). Очевидно, что в таких условиях обеспечить надежное выявление дефектов сплошности в сварном шве стального изделия возможно лишь путем применения специальных методов математической обработки и распознавания измеренных сигналов ВТП.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе [10] было показано, что применение вейвлет-анализа измеренных сигналов ВТП позволяет с высокой степенью достоверности произвести локализацию дефектов сплошности металла, а также их классификацию по геометрической форме и размерам. Это дает основание полагать, что вейвлетное преобразование [10] можно использовать для выявления дефектов сплошности типа трещин в сигнале ВТП, измеренном над сварным швом, для чего выделить из сигнала ВТП компоненты, соответствующие математическим моделям дефекта сплошности

металла типа трещины и электросварного шва, затем удалить вторую составляющую из сигнала ВТП.

В настоящее время отсутствуют теоретические модели, удовлетворительно описывающие качественные изменения сигнала накладного ВТП над сварным швом, содержащим дефект сплошности типа трещины. Поэтому при проведении исследований были использованы сигналы дифференциального ВТП, экспериментально измеренные над локальными участками электросварного шва стальной трубы с продольной трещиной глубиной до 2.5 мм.

ПОДАВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО ШВА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВТП

Сигналы дифференциальных каналов накладного ВТП над бездефектным сварным швом имеют характерные экстремумы (положительные и отрицательные), которые расположены над краями сварного шва, при этом над серединой сварного шва величина сигнала ВТП принимает нулевое значение (рис. 2, а).

При наличии в валике усиления сварного шва дефектов сплошности в указанных характеристиках распределения измеренных сигналов дифференциального ВТП появляются дополнительные экстремумы, что приводит к дальнейшему усложнению его формы (рис. 3, а; 4, а).

Допустим, что измеренный сигнал дифференциального ВТП над сварным швом с дефектом сплошности можно представить в виде суммы двух сигналов: сигнала над бездефектным сварным швом и сигнала над дефектом сплошности металла (в отличие от магнитной дефектоскопии, когда магнитное поле в пространстве формируется при взаимном влиянии сварного шва и дефекта сплошности).

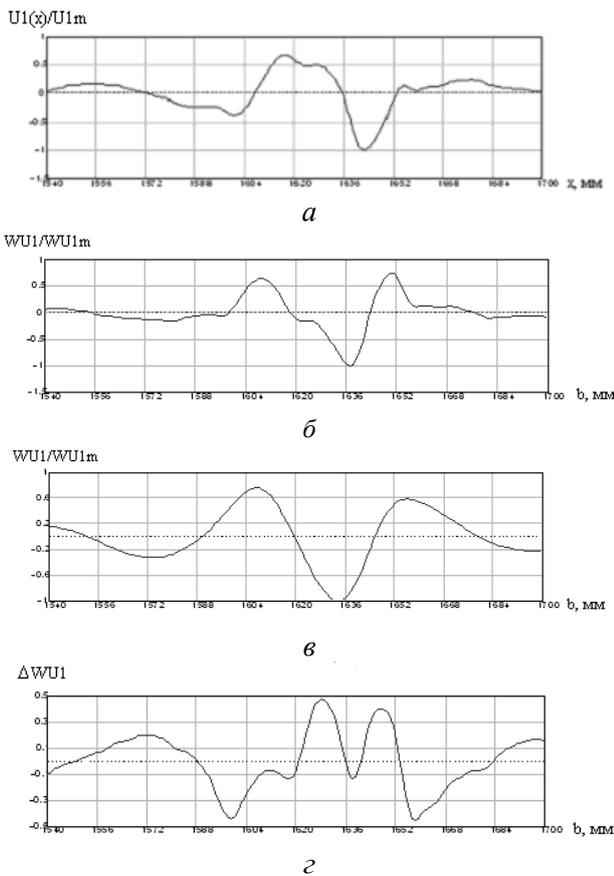


Рис. 2. Сигнал вещественного канала дифференциального ВТП над бездефектным сварным швом (а), коэффициенты вейвлетного преобразования сигнала (б, в) и их разность (з):

$$\begin{aligned} \bar{b} - a &= 1.2, z_1 = 1, z_2 = 5; \\ \bar{v} - a_0 &= 22.16, z_{10} = 0.614, z_{20} = 0.875 \end{aligned}$$

Следует отметить, что наличие неровностей поверхности металла вблизи дефекта сплошности типа трещины, сопоставимых с ней по размерам, вызывает отклонение формы сигнала ВТП над дефектом сплошности от теоретической модели [6]. Поэтому такое представление сигнала ВТП будет наиболее близким к действительности для широких сварных швов, имеющих малую кривизну поверхности валика и содержащих относительно небольшие трещины.

Для исключения влияния сварного шва на сигнал дифференциального ВТП и восстановления значений измеренного сигнала над дефектом сплошности воспользуемся присущим для вейвлетного преобразования свойством избирательной локализации сигнала заданной длительности и формы путем выбора значений масштабирующего параметра и других настроечных параметров вейвлетной функции алгебраического типа [10, 11].

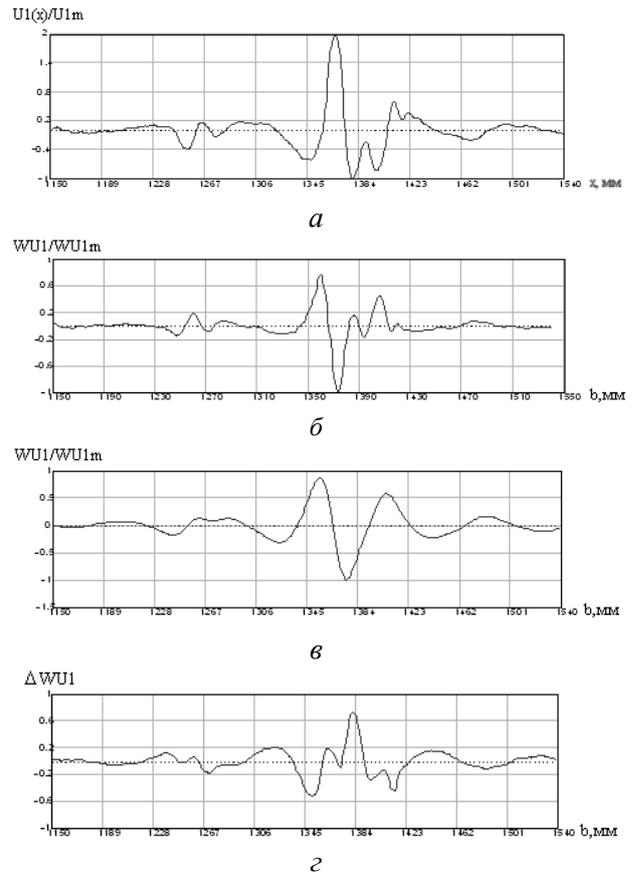


Рис. 3. Сигнал вещественного канала дифференциального ВТП над сварным швом с дефектом сплошности (а), коэффициенты вейвлетного преобразования сигнала (б, в) и их разность (з):

$$\begin{aligned} \bar{b} - a &= 1.2, z_1 = 1, z_2 = 5; \\ \bar{v} - a_0 &= 81.86, z_{10} = 0.133, z_{20} = 167.2 \end{aligned}$$

Этот подход весьма близок к способу удаления случайных помех и шумов на основе вейвлетного преобразования сигнала, при котором обнуляются коэффициенты вейвлетного преобразования, которые определяются шумами и помехами, далее путем осуществления обратного преобразования восстанавливаются значения измеренного сигнала [6].

В данном случае сигнал ВТП, измеренный над сварным швом, является помехой при распознавании сигнала ВТП над дефектом сплошности металла.

Дискретное вейвлетное преобразование измеренных сигналов дифференциальных каналов ВТП $U_1(x)$ осуществляется по формуле [10]:

$$WU_1(a, b) = \frac{dx}{a\sqrt{a}} \sum_{j=0}^n U_1(x_j) \times$$

$$\times \left[\frac{x_j - b}{\left(\frac{x_j - b}{a}\right)^2 + z_1^2} - \frac{x_j - b}{\left(\frac{x_j - b}{a}\right)^2 + z_2^2} \right] \frac{1}{|AM_2|}, \quad (1)$$

где $AM_2 = \frac{x_2}{x_2^2 + z_1^2} - \frac{x_2}{x_2^2 + z_2^2}$ – нормирующий множитель, a – масштабирующий фактор, b – параметр сдвига вейвлетного преобразования, z_1 и z_2 – параметры, определяющие форму вейвлетной функции. При этом значение параметра x_2 определяется по формуле

$$x_2 = \sqrt{\frac{z_1^2 + z_2^2}{6} - \frac{\sqrt{(z_2^4 - z_1^4)^2 - 12(z_2^2 - z_1^2)^2(z_1^2 z_2^4 - z_1^4 z_2^2)}}{6(z_2^2 - z_1^2)^2}},$$

где $dx = (x_{j+1} - x_j)$ – шаг изменения координаты x в измеренном сигнале дифференциального ВТП, n – количество отсчетов в сигнале. В данной формуле для общности введено обозначение дифференциального сигнала U_1 , которое в случае реального канала ВТП заменяется обозначением $\text{Re}U_1(a, b)$, а в случае мнимого канала – на $\text{Im}U_1(a, b)$. При этом коэффициенты вейвлетного преобразования соответственно принимают обозначения $W \text{Re} U_1(a, b)$ и $W \text{Im} U_1(a, b)$.

Для локализации сварного шва с дефектом сплошности в измеренном сигнале дифференциального каналов ВТП, вычисляем коэффициенты вейвлетного преобразования (1) с заданными параметрами a, z_1, z_2 [10]. Значения коэффициентов вейвлетного преобразования в точках экстремумов приводим к единице, то есть определяем относительные коэффициенты $WU_1(a, b)/WU_{1m}(a)$, где $WU_{1m}(a)$ – экстремумы коэффициентов вейвлетного преобразования (рис. 2, б – 4, б).

Для локализации лишь сварного шва в измеренном сигнале дифференциального канала ВТП вычисляем коэффициенты вейвлетного преобразования по формулам (1) с заданными параметрами a_0, z_{10}, z_{20} , которые определяются аналогично параметрам a, z_1, z_2 для трещин [10]. В данном случае экстремумы коэффициентов вейвлетного преобразования также приводим к единице, то есть определяем относительные коэффициенты $WU_1(a_0, b_0)/WU_{1m}(a_0)$, где $WU_{1m}(a_0)$ – экстремумы коэффициентов вейвлетного преобразования (рис. 2, в – 3, в).

В приведенных коэффициентах вейвлетного преобразования $WU_1(a, b)/WU_{1m}(a)$ содержится

информация о сварном шве и дефекте сплошности, в коэффициентах $WU_1(a_0, b_0)/WU_{1m}(a_0)$ содержится информация только о сварном шве, и подавляется влияние других факторов. В соответствии с допущением возможности разделения измеренного сигнала дифференциального ВТП на две составляющие это означает, что при вычитании приведенных коэффициентов вейвлетного преобразования друг из друга будет подавлена составляющая сигнала ВТП от сварного шва и останется составляющая сигнала ВТП от дефекта сплошности типа трещины.

Для подавления влияния сварного шва на измеренный сигнал дифференциального ВТП определяем разность относительных коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала ВТП по следующим формулам:

$$\Delta WU_1(a, b) = \frac{WU_1(a, b)}{WU_{1m}(a)} - \frac{WU_1(a_0, b_0)}{WU_{1m}(a_0)}. \quad (2)$$

На рис. 2 показано распределение сигнала вещественного канала дифференциального ВТП, которое получено над бездефектным сварным швом, а также соответствующие коэффициенты вейвлетного преобразования сигнала и их разность, полученные по формулам (1), (2).

Видно, что в коэффициентах вейвлетного преобразования сигнала ВТП значительно подавлено влияние сварного шва, при этом величина максимума в разности относительных коэффициентов вейвлетного преобразования не превышает 0.4...0.47 ед. (рис. 2, з). Эти изменения обусловлены неполным совпадением формы распределения коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала ВТП над бездефектным сварным швом (рис. 2, б, в).

На рис. 3 показаны сигналы вещественного канала дифференциального ВТП, измеренного над сварным швом с трещиной естественного происхождения глубиной около 2.5 мм, а также соответствующие им графики распределения коэффициентов вейвлетного преобразования данного сигнала и их разности (рис. 3, б, з).

В измеренном сигнале вещественного канала дифференциального ВТП и коэффициентах его вейвлетного преобразования имеются дополнительные локальные экстремумы, связанные с дефектом сплошности типа трещины в сварном шве (рис. 3, а, б).

В разности относительных коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала ВТП значительно подавлено влияние сварного шва, при этом величина максимума в распределении разности относительных коэффициентов составляет 0.73...0.82 ед. (рис. 3, з) и превышает это зна-

чение над бездефектным сварным швом более чем на 70 % (рис. 2, з).

Координата расположения максимума в распределении разности относительных коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала ВТП совпадает с месторасположением дефекта сплошности в сварном шве с координатой $x = 1381$ мм.

Наибольшее значение соотношения сигнал/шум равно 3.54 ед. для разности коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала вещественного канала дифференциального ВТП над дефектом сварного шва (рис. 3, з), что существенно превышает требуемый к вихретоковым дефектоскопам порог чувствительности [12].

Очевидно, это обусловлено также подавлением в сигнале дифференциального ВТП влияния неоднородности электромагнитных свойств металла в околосшовной зоне стальной трубы.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВТП НАД ДЕФЕКТОМ СПЛОШНОСТИ В СВАРНОМ ШВЕ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ

На основе обратного вейвлетного преобразования коэффициентов $\Delta WU_1(a,b)$, определяемых по формулам (2), осуществляется восстановление значений сигнала дифференциального ВТП, измеренного над дефектом сплошности без влияния сварного шва.

Обратное дискретное преобразование относительных коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала дифференциального ВТП (2) осуществляется по следующей формуле обращения:

$$\text{Re}U_1(x_k) = \frac{da db}{C_\Psi} \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{n_2} \Delta W \text{Re}U_1(a_i, b_j) \times \left[\frac{x_k - b_j}{\left(\frac{x_k - b_j}{a_i}\right)^2 + z_1^2} - \frac{x_k - b_j}{\left(\frac{x_k - b_j}{a_i}\right)^2 + z_2^2} \right] \times \frac{W \text{Re}U_{1m}}{a_i^3}, \quad (3)$$

где постоянная

$$C_\Psi = 2\pi^2 \ln \left(\frac{(z_1 + z_2)^2}{4z_1 z_2} \right),$$

n_1 и n_2 – количество отсчетов для параметра сдвига b и для масштабирующего параметра a соответственно, da, db – шаг изменения мас-

штабирующего параметра и параметра сдвига соответственно.

Сварной шов стальной трубы приводит к искажению не только значений, но и формы измеренного сигнала дифференциального ВТП над дефектом сплошности.

При прямом и обратном вейвлетном преобразовании (3) осуществляется восстановление значений и формы распределения сигнала ВТП над металлом.

На рис. 4 показан фрагмент сигнала вещественного канала дифференциального ВТП, измеренного над сварным швом с трещиной естественного происхождения глубиной 2.50 мм, которая расположена в средней области валика усиления сварного шва стальной трубы, и соответствующий сигнал ВТП над дефектом сплошности, восстановленный по формуле (3). Максимальная величина раскрытия трещины, измеренная непосредственно на поверхности металла, составляет 0.35 мм.

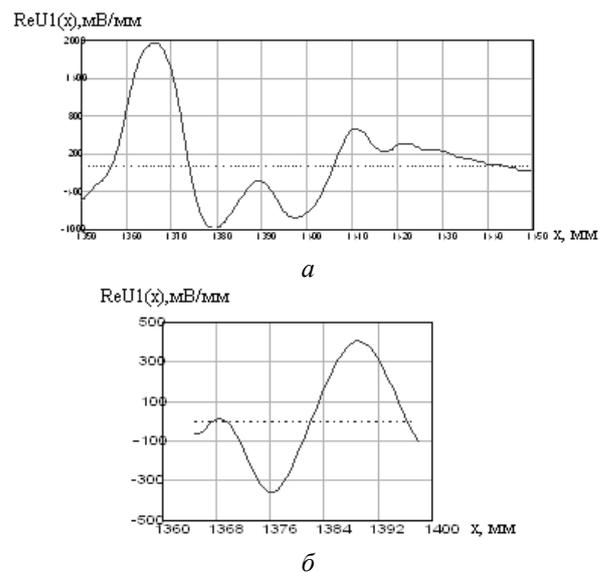


Рис. 4. Фрагмент сигнала вещественного канала дифференциального ВТП, измеренного над сварным швом с дефектом сплошности (а) и восстановленный сигнал ВТП над трещиной в сварном шве (б)

Расстояние между экстремумами восстановленного сигнала вещественного канала дифференциального ВТП над трещиной равно 13.4 мм (рис. 4, б), в то время как для искаженного сигнала ВТП оно равно 8.38 мм (рис. 4, а), то есть меньше восстановленного значения (близкого к истинному) более чем на 60 %.

Восстановление значений сигналов дифференциального ВТП, полученных над дефектами сплошности в сварных швах, позволяет перейти к решению задачи оценки геометрических па-

раметров выявленных дефектов сплошности металла.

Следует заметить, что для удовлетворительного решения задачи определения геометрических параметров дефектов сплошности в сварном шве и околошовной зоне стальной трубы требуется учет существенного влияния на величину сигнала ВТП изменения электрических и магнитных свойств металла [4, 5].

Это обусловлено, с одной стороны, различием электромагнитных свойств металла сварного шва и стальной трубы, и, с другой стороны, значительным изменением электромагнитных параметров металла в зоне термического влияния дуговой сварки.

С учетом этого обстоятельства, на основе восстановленных сигналов дифференциального ВТП (рис. 4, б) можно примерно оценить геометрические параметры трещины в сварном шве.

Амплитудное значение восстановленного сигнала вещественного канала дифференциального ВТП равно 381.5 мВ/мм. Сопоставление полученных амплитудных значений с амплитудами сигналов дифференциального ВТП, измеренных на калиброванных моделях трещин в образцах из трубной стали [10], дает оценку глубины и ширины раскрытия трещины соответственно 2.38 и 0.38 мм. Данная оценка удовлетворительно согласуется с заранее измеренными размерами трещины, с учетом величины максимальной допустимой погрешности вихрековых дефектоскопов [3].

Из этих данных видно, что при однопараметровой оценке геометрических параметров трещины в сварном шве наиболее близкие к действительности результаты получены на основе восстановленного сигнала вещественного канала дифференциального ВТП, наименее подверженного влиянию случайных помех.

ВЫВОДЫ

1. В распределении разности относительных коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала дифференциального ВТП подавляется компонент сигнала от сварного шва стального изделия, при этом составляющая сигнала ВТП от дефекта сплошности остается практически неизменной.

2. Соотношение сигнал/шум в распределении разности коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала дифференциального ВТП над дефектом сплошности сварного шва значительно превышает порог чувствительности, предъявляемый к вихрековым дефектоскопам. Это свойство дает возможность повышения эф-

фективности большинства автоматизированных систем электромагнитного контроля качества сварных металлоконструкций, работающих по принципу пороговой индикации, без внесения в них принципиальных изменений.

3. Перечисленные особенности вейвлетного преобразования измеренных сигналов ВТП позволяют существенно повысить выявляемость дефекта сплошности металла в околошовной зоне и в валике сварного шва стального изделия.

4. Прямое и обратное вейвлетное преобразование позволяет восстановить амплитудные значения и форму измеренного сигнала дифференциального ВТП над дефектом сплошности без влияния сварного шва стальной трубы и может использоваться при оценке размеров обнаруженных дефектов сплошности металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Неразрушающий** контроль и диагностика: справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др.; Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.
2. **Неразрушающий** контроль: справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 2: Кн. 2: Ю. К. Федосенко, В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, Ю. Я. Останин. Вихретовый контроль. М.: Машиностроение, 2006. 688 с.
3. **Федосенко Ю. К., Шкатов П. Н., Ефимов А. Г.** Вихре-токовый контроль. М.: ИД «Спектр», 2011. 224 с.
4. **Шубочкин А. Е., Ефимов А. Г.** Учет магнитных свойств зоны термического влияния сварных соединений применительно к магнитно-вихрековому контролю магистральных трубопроводов // Труды 19-й Всерос. конф. с междунар. участием по неразрушающему контролю и технической диагностике (Самара, 6–8 сентября 2011). Самара: СГАУ им. акад. С. П. Королева, 2011. С. 373–375.
5. **Шубочкин А. Е.** Разработка средств вихрековой дефектоскопии труб в приложенном постоянном магнитном поле. Дис. канд. техн. наук. М., 2011. 146 с.
6. **Загидулин Р. В., Ефимов А. Г.** Цифровой анализ сигналов в электромагнитной дефектоскопии. Физические основы и практические приложения. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG., 2011. 119 с.
7. **ВСН 012-88.** Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Контроль качества и приемка работ. Ч. I, II / Миннефтегазстрой России. М.: ВНИИНСТ, 1988. 134 с.
8. **СНИП III-42-80.** Магистральные трубопроводы / Минстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1997. 74 с.
9. **Коннов А. В., Кузнецов А. М., Загидулин Т. Р., Загидулин Р. В.** Электромагнитный контроль поверхности стальных газопроводов в процессе переизоляции // Достижения физики неразрушающего контроля: тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 15 октября 2013). Мн.: ИПФ НАН Беларуси, 2013. С. 182–189.
10. **Бадамшин Р. А., Загидулин Т. Р., Коннов А. В.** Некоторые вопросы оптимизации параметров вейвлетного преобразования сигналов преобразователей электромагнитного поля // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17, № 1 (54). С. 122–127.

11. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, № 11. С. 1145–1170.

12. ГОСТ 26697-85. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы магнитные и вихретоковые. Общие технические требования. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 88 с.

ОБ АВТОРАХ

Бадамшин Рустам Ахмарович, проректор по науч. и инновац. деятельности, проф. каф. техн. кибернетики. Д-р техн. наук (УГАТУ, 2000), дипл. инж.-электр. (УГАТУ, 1973). Действ. чл. Международной академии наук.

Загидулин Тимур Ринатович, асп. той же каф., бакалавр физики (БашГУ, 2010), магистр техн. и технол. по физ. материаловедению и технол. новых материалов (УГАТУ, 2012).

Коннов Алексей Владимирович, зам. ген. дир. Дипл. инж.-физик (НИЯУ МИФИ).

METADATA

Title: Research of crack detectability in the weld based on wavelet transform of the differential eddy current transducer signal.

Authors: R. A. Badamshin¹, T. R. Zagidulin², A. V. Konnov³

Affiliation:

^{1,2} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

³ ZAO "NPC Molniya", Moscow, Russia.

Email: ²ztr@post.com.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 4 (57), pp. 167-173, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The direct and inverse wavelet transform of differential eddy current transducer signal measured on weld having discontinuity such as a crack have been investigated. The possibility of reconstruction of signal values on crack and increase of discontinuities detectability into weld of steel part.

Key words: measured signal; wavelet transform; inverse wavelet transform; differential eddy current transducer; discontinuity, weld.

References (English transliteration):

1. V. V. Klyuev, F. R. Sosnin, V. N. Filinov, et al. *Nondestructive testing and diagnostics: Handbook*. Under general edition of V. V. Klyuev. Moscow: Mashinostroyeniye, 1995.
2. Yu. K. Fedosenko, V. G. Gerasimov, A. D. Pokrovskiy, and Yu. Ya. Ostanin. *Nondestructive control: handbook*: In 8 volumes. Under general edition of V. V. Klyuev. Vol. 2: Chapter. 2: Eddy current control. Moscow: Mashinostroyeniye, 2006.
3. Yu. K. Fedosenko, P. N. Shkatov, and A. G. Efimov. *Eddy current testing*. Moscow: «Spektr» PH, 2011.
4. A. E. Shubochkin and A. G. Efimov, "Accounting for the magnetic properties of the heat affected zone of welded joints with respect to the magnetic eddy current inspection of pipelines," in *Proc. 19-th All-Russian Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics*. SGAU, pp. 373-375, 2011.

5. A. E. Shubochkin, *The development of tools eddy current flaw detection tubes in a constant magnetic field is applied*: Candidate of technical sciences dissertation. Moscow, 2011.

6. R. V. Zagidulin and A. G. Efimov, *Digital signal analysis in electromagnetic flaw. Physical principles and practical applications*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publ. GmbH & Co. KG., 2011.

7. VSN 012-88. *Construction of main and field pipelines*.

8. SNiP III - 42 - 80. *The main pipelines*. Russian Ministry of Building. Moscow: GUP CPP, 1997.

9. A. V. Konnov, A. M. Kuznecov, T. R. Zagidulin, and R. V. Zagidulin, "The electromagnetic control surfaces of steel pipelines in the re-insulation," in *Proc. Int. Sci. Conf. «Achievements of Non-destructive Testing»*, Minsk, 2013.

10. R. A. Badamshin, T. R. Zagidulin, and A. V. Konnov, "Some questions of the optimization parameters of wavelet transform signal transducers of the electromagnetic field," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 17, no. 1 (54), pp. 122-127, 2013.

11. N. M. Astafyeva, "Wavelet analysis: basic theory and applications," *Advances of Physical Sciences*, vol. 166, no. 11, pp. 1145-1170, 1996.

12. *Non-destructive testing. Magnetic and eddy current flaw detectors. General technical requirements*, (in Russian), GOST 26697-85, Moscow: USSR National Standard Committee, 1985.

About authors:

BADAMSHIN, Rustam Ahmarovich, Professor, Department of Technical Cybernetics and Systems analysis, Prorector on Researches and Innovations of UGATU. Dipl. Engineer-Electrician (UGATU, 1973). Doctor of Technical Sciences (UGATU, 2000). Full member of International Academy of Sciences.

ZAGIDULIN, Timur Rinatovich, Postgraduate (PhD) Student, Department of Technical Cybernetics and Systems analysis. Master of Technique and Technologies (UGATU, 2012).

KONNOV, Alexey Vladimirovich, Deputy General Director of ZAO "NPC Molniya", Moscow, Dipl. Engineer-Physicist (National Nuclear Researches University MEPhI).