

УДК 620.179.14

## ОБРАБОТКА МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОДЗЕМНЫХ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Коннов В. В.

*ЗАО Научно-производственный центр «МОЛНИЯ», г. Москва  
e-mail: molkon@bk.ru*

***Аннотация.** Для обработки магнитометрических сигналов при дистанционной диагностике подземных стальных трубопроводов применены параметрические вейвлетные функции алгебраического типа, что позволило снизить уровень случайного шума в несколько раз и существенно повысить надежность оценки напряженно-деформированного состояния металла подземных стальных трубопроводов.*

***Ключевые слова:** магнитометрические сигналы, магистральный трубопровод, контроль НДС, вейвлетное преобразование, дистанционная диагностика.*

Для обеспечения работоспособности стальных трубопроводов различного назначения осуществляется большой комплекс технологических операций (подготовительных и основных), в состав которых, в частности, входят операции по оценке напряженно-деформированного состояния металла (НДС) стальных трубопроводов [1-5].

Оценка остаточного ресурса и работоспособности элементов металлоконструкций стальных трубопроводов (ТП) по НДС металла является особенно актуальной для магистральных нефтегазопроводов, имеющих длительный срок эксплуатации [4-5, 8-10].

Технологические операции по оценке НДС металла ТП проводятся при выполнении программ контроля НДС металла контактным способом (с доступом к стенке стальной трубы и изменением технологических режимов работы ТП) и бесконтактным способом (без доступа к стенке стальной трубы и изменения технологических режимов работы ТП).

Контроль НДС металла ТП контактным способом обычно осуществляется по результатам контроля в рамках первой программы, в составе тех операций, которые предусмотрены дополнительным диагностическим контролем ТП, или по результатам внутритрубной диагностики линейной части магистральных трубопроводов (ЛЧМГ).

Операции контроля НДС металла бесконтактным способом рекомендуется осуществлять на ТП, залегающих под землей на глубине до 2 метров.

Для контроля НДС металла ТП бесконтактным способом, выявления и локализации зон концентрации механических напряжений металла на контролируемом участке трубопровода используется метод магнитометрии, основанный на воздействии магнитного поля над намагниченным ТП на астатическую измерительную систему магнитометра [6-8].

На этом принципе основана работа ряда технических средств магнитометрического контроля ТП (приборы типа УКИ, МБС-04СКИФ, ИКН-3М-1 и др.) [8-9].

В общем случае показания магнитометрических приборов контроля НДС металла ТП имеют качественный характер, так как точность количественной оценки величины механического напряжения металла пока остается невысокой.

Однако применение этих приборов при технической диагностике ТП позволяет существенно снизить общие затраты (материальные, временные), за счет установления мест потенциально опасных участков ТП с целью проведения более детального дополнительного диагностического контроля на открытом участке трубопровода в рабочем котловане (в шурфе).

Перемещение датчиков магнитного поля магнитометрического устройства (на высоте не более 15-20 см от поверхности Земли) осуществляется оператором-дефектоскопистом в ручном режиме, при его равномерном движении вдоль оси ТП. При этом регистрируются изменения величины напряженности магнитного поля над ТП, которые отличаются от фоновых значений более чем на 20%, эти участки фиксируются на местности и заносятся в протокол контроля с указанием привязок на карте – схеме [10].

Из-за особенностей процесса магнитометрического контроля, связанных с влиянием множества случайных (в том числе, субъективных) факторов, измеренная магнитометрическая информация содержит достаточно высокий уровень помех и случайных шумов, который снижает достоверность результатов бесконтактного контроля НДС металла ТП.

Снижение уровня случайных шумов и помех в измеренной магнитометрической информации можно осуществлять на разных этапах: на этапе измерения аналогового сигнала, путем применения специальных схемотехнических решений и пространственного расположения преобразователей магнитного поля, и на этапе анализа и интерпретации цифровой информации. Здесь рассмотрена возможность применения вейвлетного преобразования измеренного сигнала на этапе предварительной математической обработки информации, хорошо зарекомендовавшего себя при анализе и интерпретации измеренных сигналов, получаемых при электромагнитной дефектоскопии стальных изделий и металлоконструкций [11-13].

На рис. 1 показана схема магнитометрического контроля подземного ТП прибором М-1 (*Konnov V.I., Kuts I.A. Instrumental Complex "M1" for Contactless*

*Diagnostics of Gas Pipelines//10th European Conference on Non-Destructive Testing: Reports - Moscow, 7-11 June 2010. Report № 1.11.8. M.: Publishing house Spektr, 2010. [CD]. Коннов В.В. Патент на полезную модель № 88453 РФ. Приборный комплекс для бесконтактной диагностики технического состояния подземных трубопроводов М-1. Заявлено 30.07.2009).* Значения составляющих напряженности постоянного магнитного поля над ТП (нормальная, продольная и касательная составляющие – абсолютные каналы), а также модуль напряженности постоянного магнитного поля измеряются блоком датчиков с определенным шагом сканирования в двух пространственно разнесенных точках.

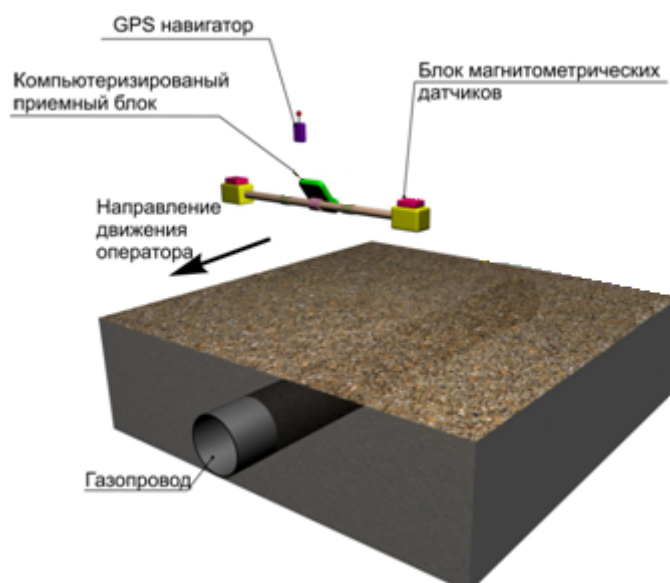


Рис.1. Схема магнитометрического контроля подземных ТП прибором М-1

В режиме измерения градиента напряженности магнитного поля определяются дифференциальные значения измеренных составляющих напряженности магнитного поля в пространственной системе координат над ТП (дифференциальные каналы).

Признаком наличия зон концентрации механических напряжений металла (ЗКН) на ТП является наличие локальных максимумов в распределении измеренного сигнала преобразователей магнитного поля, которые значительно превышают уровень сигнала, соответствующий ненапряженному участку металла ТП. По месторасположению максимумов и ширине измеренного сигнала устанавливаются координаты месторасположения и протяженность участка ТП с ЗКН металла.

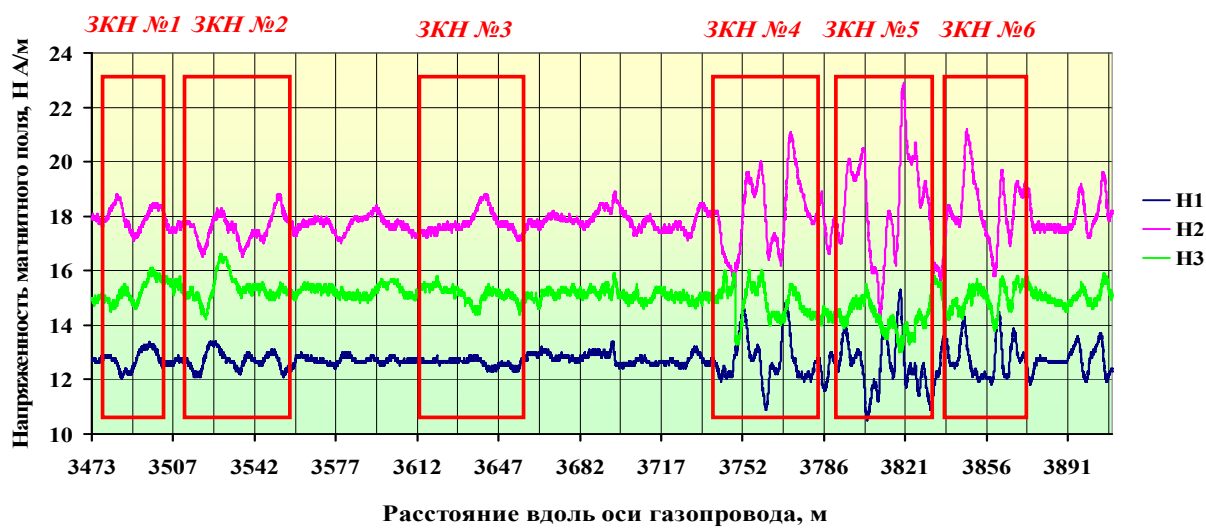
На рис. 2а приведены результаты магнитометрического контроля участка магистрального стального газопровода прибором М-1 (здесь Н1 – продольная, Н2 – нормальная (радиальная), Н3 – поперечная (касательная над осью стальной трубы) составляющие напряженности магнитного поля стального трубопровода).

На рис. 2б показана открытая область поверхности стального трубопровода в шурфе, где были выявлены зоны концентрации механического напряжения металла, области повреждения изоляционного покрытия и коррозионного поражения металла стальной трубы.

Формы измеренных сигналов, которые приведены на рис. 2, отражают все характерные особенности в измеренной магнитометрической информации над стальным трубопроводом. Видно, что наличие случайных шумов и помех в измеренной информации существенно затрудняют выявление областей с ЗКН металла.

Уровень случайного шума в измеренном магнитометрическом сигнале меняется от 18% до 57% от величины амплитуды сигнала над областью стальной трубы с ЗКН металла. В некоторых случаях зашумленные участки измеренного сигнала мало отличаются от участков, соответствующих областям стального трубопровода с ЗКН металла (рис. 2а, участки №1, 2).

Это обстоятельство позволяет сделать заключение о том, что применение классического спектрального анализа для обработки измеренного магнитометрического сигнала над стальным трубопроводом не будет эффективным. Поэтому для снижения уровня случайных помех и шумов рассмотрим вейвлет-преобразование измеренного магнитометрического сигнала, которое является эффективным при исследовании непериодических, неоднородных по своей структуре электрических сигналов.



а)



б)

Рис. 2. Результаты магнитометрического контроля участка магистрального стального газопровода прибором М-1 (а) и область стальной трубы с ЗКН металла (б)

Для вейвлетного преобразования измеренного магнитометрического сигнала над стальным трубопроводом используем вейвлетные функции алгебраического типа, которые являются параметрическими (рис.3) [11]:

$$\psi_1(x) = \frac{z_1}{x^2 + z_1^2} - \frac{z_2}{x^2 + z_2^2}, \quad (1a)$$

$$\Psi_2(x) = \frac{x}{x^2 + z_1^2} - \frac{x}{x^2 + z_2^2}, \quad (16)$$

где  $z_1, z_2 \neq 0$  – параметры вейвлетной функции,  $|x| < \infty$ .

Параметры  $z_1, z_2$  вейвлетных функций (1) не ограничены и могут иметь произвольные значения, поэтому формулы (1) описывают бесконечное множество материнских вейвлетных функций алгебраического типа.

Следует заметить, что форма измеренного сигнала преобразователей магнитного поля в области ЗКН металла является различной (рисунок 2).

Измеренные сигналы абсолютного канала магнитометрического прибора являются обычно однополярными и имеет примерно колоколообразную форму, в то время как измеренные сигналы дифференциального канала являются преимущественно двуполярными и имеет форму, близкую к синусоиде.

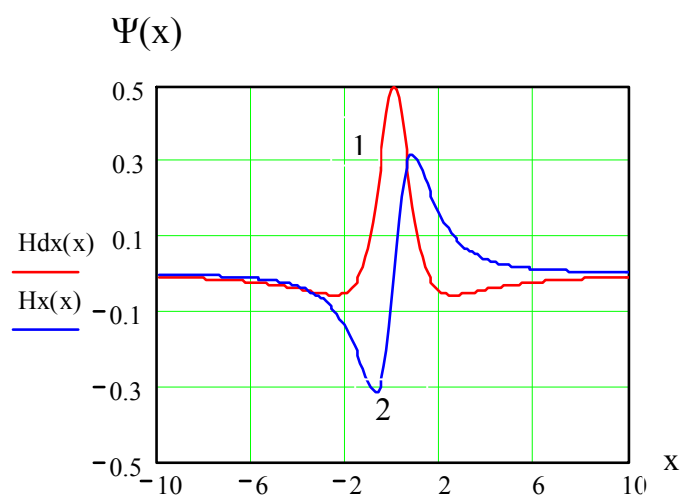


Рис. 3. Материнская вейвлетная функция алгебраического типа: 1-  $\Psi_1(x)$ , 2-  $\Psi_2(x)$ .

В связи с этим, при вейвлетном преобразовании однополярного измеренного магнитометрического сигнала над стальным трубопроводом  $H(x)$  следует использовать вейвлетную функцию (1а), то есть, коэффициенты вейвлетного преобразования сигнала определяются по формуле [11]:

$$WH(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} H(x) \overline{\Psi_1\left(\frac{x-b}{a}\right)} dx, \quad (2a)$$

где  $a$  – масштабирующий параметр,  $b$  – параметр сдвига.

При вейвлетном преобразовании измеренного двуполярного магнитометрического сигнала над стальным трубопроводом  $H_1(x)$  коэффициенты преобразования определяются по следующей формуле:

$$WU_1(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} H_1(x) \overline{\Psi_2\left(\frac{x-b}{a}\right)} dx. \quad (2б)$$

В работе [11, 13] показано, что при вейвлетном преобразовании измеренного сигнала с масштабирующим параметром  $a > 1$ , в коэффициентах значительно уменьшается уровень случайных шумов и помех.

Случайный шум в измеренном сигнале описан гармоническим рядом конечной длины:

$$H_{\text{ш}}(x) = \sum_{k=1}^N A_k \cos(\omega_k x), \quad (3)$$

где  $A_k$  – амплитуда,  $\omega_k$  – частота гармоники случайного шума ( $k \leq N$ ).

На рис. 4 показано распределение  $x$  - составляющей напряженности магнитного поля над стальным изделием с дефектом сплошности без случайного шума и с шумом (3), соответственно.

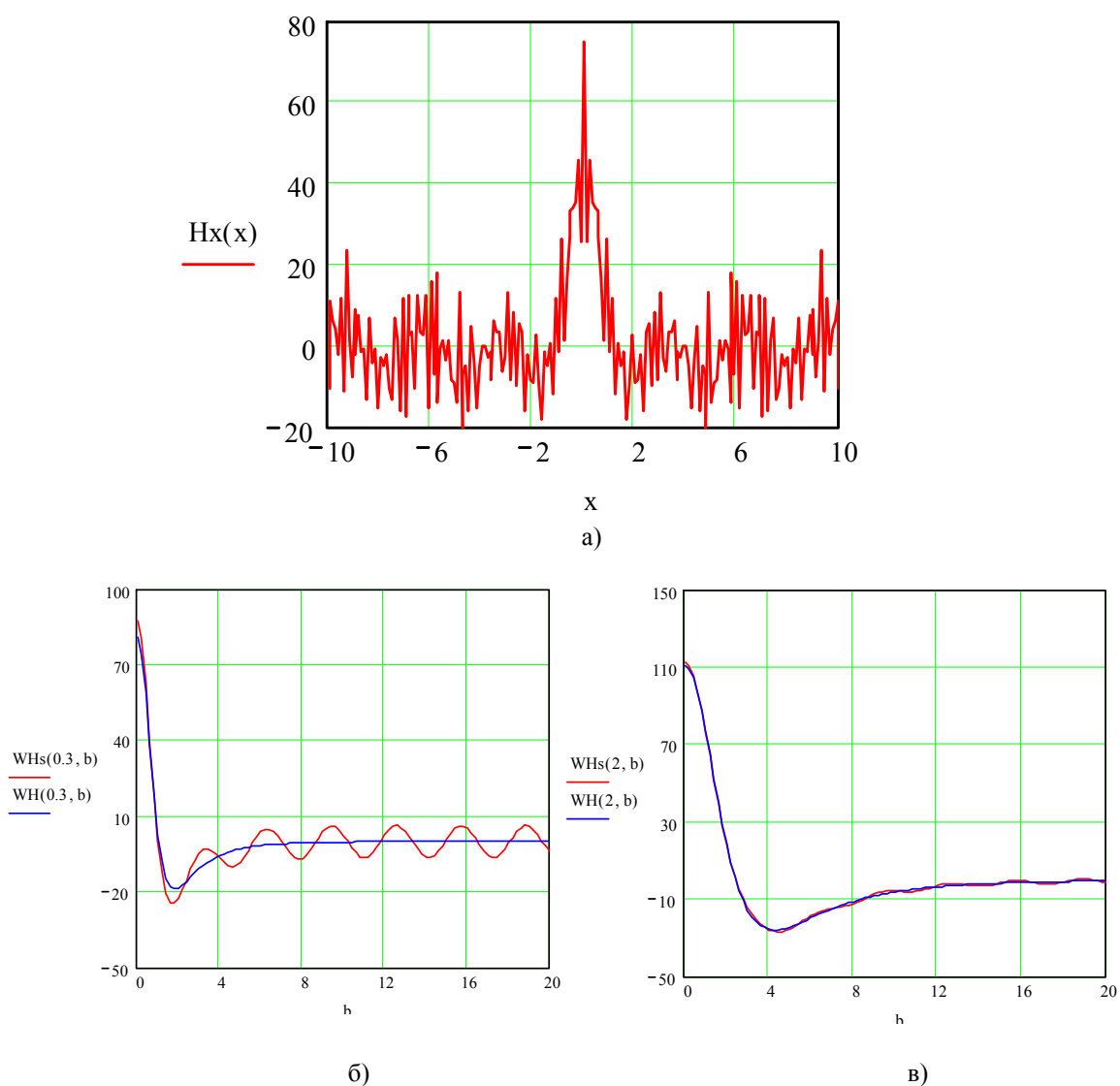


Рис. 4. Распределение  $x$  - составляющей напряженности магнитного поля над дефектом сплошности со случайным шумом (а) и зависимость коэффициентов его вейвлетного преобразования от параметра сдвига б) – масштабирующий параметр  $a = 0.3$ , в) –  $a = 2$ .

Коэффициенты вейвлетного преобразования случайного шума (3) описываются аналитическим выражением [13]:

$$WH_{\text{ш}}(a, b) = \sqrt{a} \pi \sum_{k=1}^N A_k \cos(b \omega_k) \left( e^{-a \omega_k z_1} - e^{-a \omega_k z_2} \right), \quad (4)$$

из которого следует, что величина коэффициентов вейвлетного преобразования случайного шума с увеличением значения масштабирующего параметра  $a$  убывает по гиперболическому закону.

Поэтому выбирая соответствующие значения масштабирующего параметра вейвлетного преобразования измеренного сигнала, можно изменять уровень случайных помех в коэффициентах его вейвлетного преобразования.

Значения измеренного сигнала без случайного шума восстанавливаются на основе обратного вейвлетного преобразования полученных коэффициентов по формуле обращения:

$$H(x) = \frac{1}{C_{\Psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} WH(a, b) \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \frac{da db}{a^2}, \quad (5)$$

$$C_{\Psi} = 2\pi^2 \ln \frac{(z+z_1)^2}{4zz_1}$$

где постоянная

Из рис. 4 видно, что при значениях масштабирующего параметра  $a > 1$  амплитуда колебаний значений коэффициентов вейвлетного преобразования магнитного поля, связанных влиянием случайного шума, весьма мала и они близки к значениям коэффициентов без случайного шума.

На рисунках 6, 7 показаны результаты вейвлетного преобразования магнитометрического сигнала, полученного прибором М-1 над стальным трубопроводом (рис. 5), при разных значениях масштабирующего параметра  $a$ .

Уровень случайного шума в измеренном магнитометрическом сигнале является значительным, особенно по каналу измерения поперечной составляющей напряженности магнитного поля над стальным трубопроводом (рис. 5в).

При вейвлетном преобразовании измеренного магнитометрического сигнала с масштабирующим параметром  $a > 1$  уровень случайного шума в коэффициентах преобразования уменьшается. Из рис. 6, 7 видно, что в коэффициентах вейвлетного преобразования магнитометрического сигнала, осуществленного с масштабирующими параметрами  $a = 3, 4$ , величина случайного шума уменьшилась в 2-3 раза, по сравнению с исходным измеренным сигналом. Очевидно, что это обстоятельство существенно увеличивает надежность выявления в измеренном сигнале областей с ЗКН металла.

Исследования показали, что наиболее эффективного подавления уровня случайных шумов в измеренном магнитометрическом сигнале можно добиться при использовании оптимальной вейвлетной функции (1), которая определяется выбором соответствующих значений масштабирующего параметра  $a$  и параметров вейвлетной функции  $z_1, z_2$ .



В связи с этим были установлены области значений масштабирующего параметра  $a$  и параметров  $z_1, z_2$  вейвлетной функции (1), описывающих оптимальные вейвлетные функции для распределения измеренного магнитометрического сигнала над областью стального трубопровода с ЗКН металла.

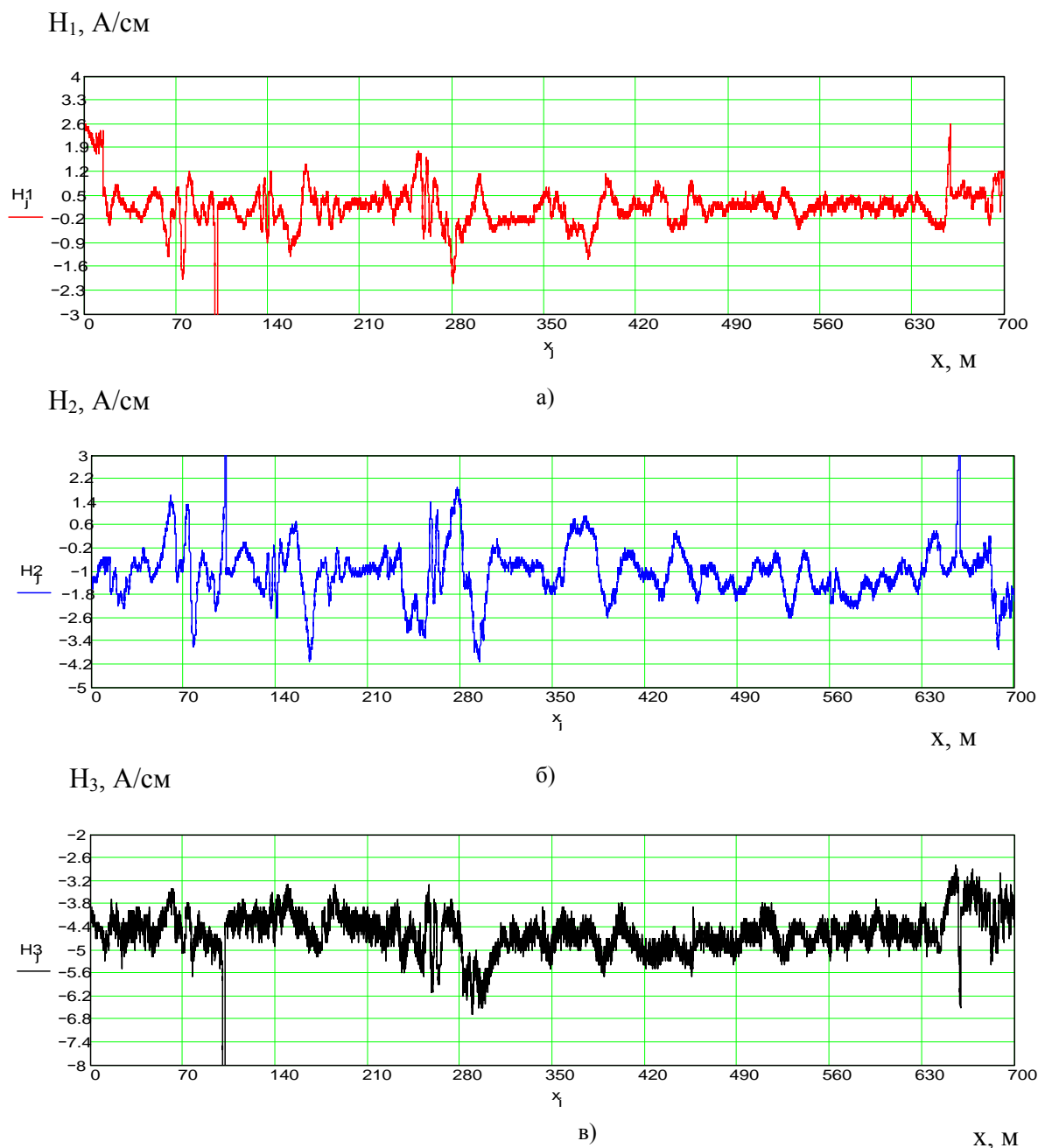
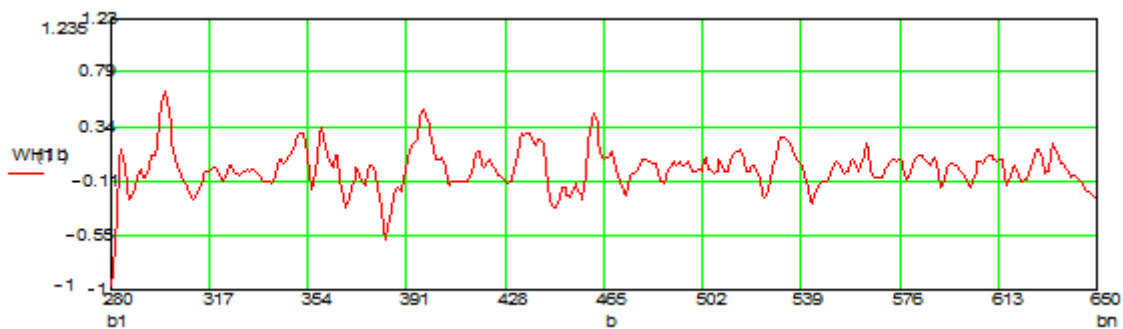


Рис. 5. Магнитометрическая информация, полученная прибором М-1 над участком стального трубопровода: а) - продольная, б) - нормальная (радиальная), в) - поперечная составляющие напряженности магнитного поля

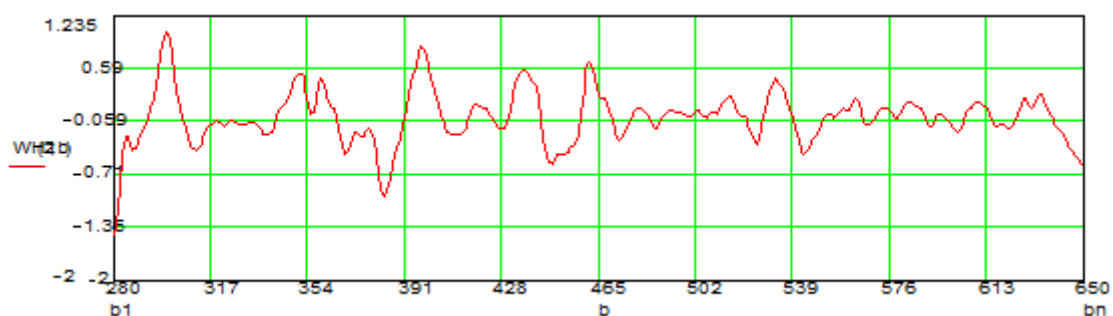
Оптимальные значения вейвлетного преобразования определялись методом наименьших квадратов, при котором критерием оптимальности вейвлетной функции является наименьшее значение среднеквадратичного

отклонения ее значений от соответствующих значений измеренного магнитометрического сигнала, то есть осуществляется равномерное приближение формы вейвлетной функции к форме измеренного сигнала.

а)



б)



в)

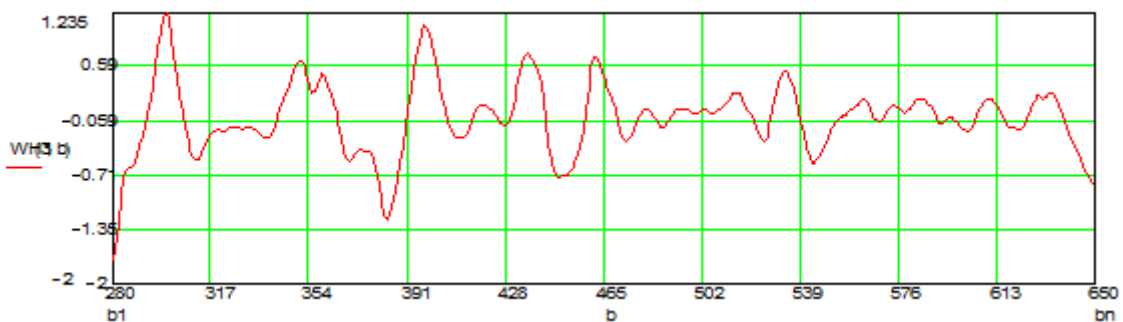


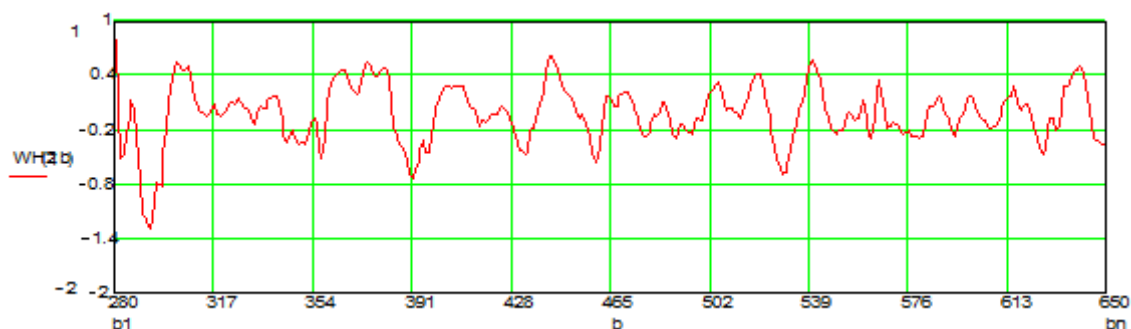
Рис. 6. Распределение коэффициентов вейвлетного преобразования продольной составляющей напряженности магнитного поля над стальным трубопроводом  
а) – масштабирующий параметр  $a=1$ , б) -  $a=2$ , в) -  $a=3$ .

Для этого используется функционал, состоящий из измеренного магнитометрического сигнала и вейвлетной функции:

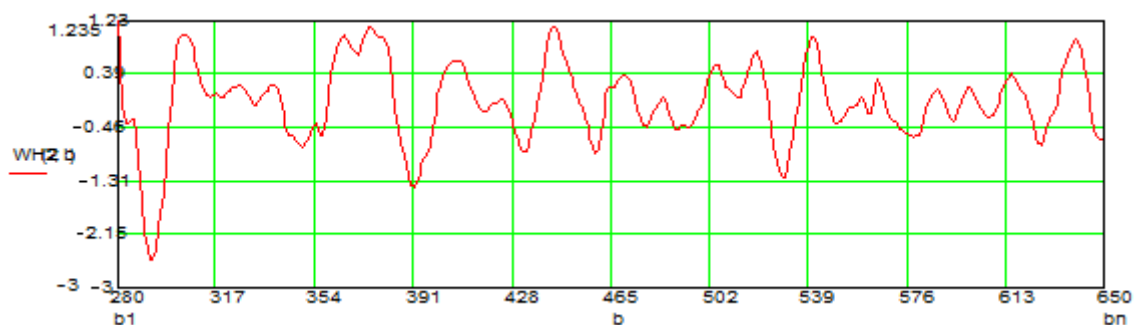
$$F(a, z_1, z_2) = \sum_{j=1}^N \left[ \frac{H(x_j)}{H_m} - \psi(x_j, a, z_1, z_2) \right]^2, \quad (6)$$

где  $H(x_j)$  – значения измеренного магнитометрического сигнала ( $j = 1, 2, \dots, N$ ),  $H_m$  – амплитуда измеренного магнитометрического сигнала над областью с ЗКН металла.

а)



б)



в)

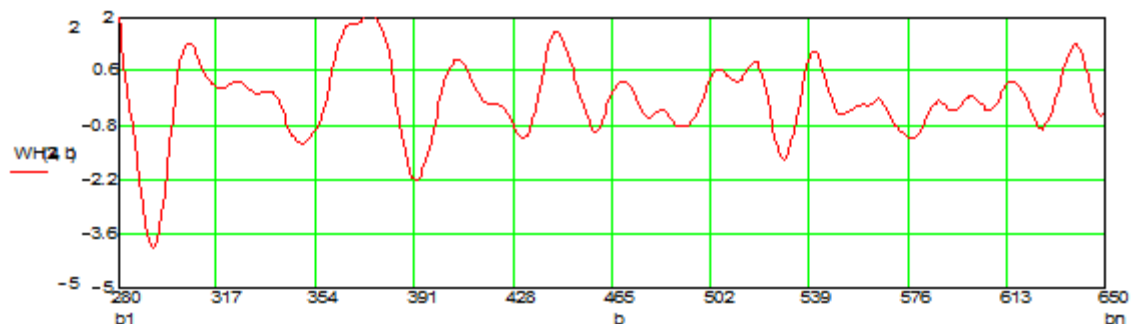


Рис. 7. Распределение коэффициентов вейвлетного преобразования нормальной (радиальной) составляющей напряженности магнитного поля над стальным трубопроводом а) – масштабирующий параметр  $a=1$ , б) -  $a=2$ , в) -  $a=4$ .

В функционале (6) амплитуда измеренного магнитометрического сигнала и вейвлетной функции  $\Psi_1(x)$  (1а) приведены к единице, при этом вейвлетная функция имеет следующий вид:

$$\Psi_1\left(x_j, a, z_1, z_2\right) = \frac{z_1 z_2}{z_2 - z_1} \left( \frac{z_1}{\left(\frac{x_j}{a}\right)^2 + z_1^2} - \frac{z_2}{\left(\frac{x_j}{a}\right)^2 + z_2^2} \right). \quad (7)$$

Длительность вейвлетной функции  $\Psi_1(x)$  (или ее период) связана с ее параметрами формулой:

$$x_n = 2\sqrt{z_1 z_2},$$

из которой следует, что с увеличением параметров вейвлетной функции (1а) происходит монотонное увеличение ее длительности. Поэтому для вейвлет-анализа широких магнитометрических сигналов в вейвлетной функции (1а) следует использовать сравнительно большие значения параметров  $z_1$ ,  $z_2$ , и наоборот.

При поиске оптимальных параметров вейвлетного преобразования составляющей измеренного магнитометрического сигнала, имеющего дипольный характер, в функционале (6) вместо вейвлетной функции  $\Psi_1(x)$  подставляется вейвлетная функция  $\Psi_2(x)$  (1б), которая берется в виде, при котором амплитуда функции приведена к единице, то есть описывается следующей формулой:

$$\Psi_2\left(x_j, a, z_1, z_2\right) = \frac{1}{\Psi_2(x_m)} \frac{x_j}{a} \left( \frac{1}{\left(\frac{x_j}{a}\right)^2 + z_1^2} - \frac{1}{\left(\frac{x_j}{a}\right)^2 + z_2^2} \right), \quad (8)$$

где  $\Psi_2(x_m)$  – амплитудное значение вейвлетной функции (1б), соответствующее точке с координатой:

$$x_m = \sqrt{\frac{z_1^2 + z_2^2}{6} - \frac{\sqrt{\left(z_2^4 - z_1^4\right)^2 - 12\left(z_1^2 - z_2^2\right)^2 \left(z_1^2 z_2^4 - z_1^4 z_2^2\right)}}{6\left(z_1^2 - z_2^2\right)}}. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что с увеличением параметров вейвлетной функции (1б) происходит монотонное увеличение расстояния между экстремумами функции. Поэтому для вейвлет-анализа широких сигналов в вейвлетной функции (1б) также следует использовать сравнительно большие значения параметров  $z_1$ ,  $z_2$ , и наоборот.

Оптимальные параметров вейвлетной функции (1а) устанавливаются на основе решения системы алгебраических уравнений, которые получаются из условия, что в точке минимума функционала (6) выполняются условия экстремума:

$$\left. \frac{\partial F(a, z_1, z_2)}{\partial z_1} \right|_{z_1 = z_1^*} = \sum_{j=1}^N \left[ H(x_j) - \psi_1(x_j, a, z_1, z_2) \right] \frac{\left( \frac{x_j}{a} \right)^2 - z_1^2}{\left( \left( \frac{x_j}{a} \right)^2 + z_1^2 \right)^2} = 0, \quad (10a)$$

$$\left. \frac{\partial F(a, z_1, z_2)}{\partial z_2} \right|_{z_2 = z_2^*} = \sum_{j=1}^N \left[ H(x_j) - \psi_1(x_j, a, z_1, z_2) \right] \frac{\left( \frac{x_j}{a} \right)^2 - z_2^2}{\left( \left( \frac{x_j}{a} \right)^2 + z_2^2 \right)^2} = 0, \quad (10б)$$

$$\left. \frac{\partial F(a, z_1, z_2)}{\partial a} \right|_{a = a^*} = \sum_{j=1}^N \left[ H(x_j) - \psi_1(x_j) \right] \frac{x_j^2}{a^3} \left[ \frac{z_1}{\left( \left( \frac{x_j}{a} \right)^2 + z_1^2 \right)^2} - \frac{z_2}{\left( \left( \frac{x_j}{a} \right)^2 + z_2^2 \right)^2} \right] = 0, \quad (10в)$$

где  $a^*$ ,  $z_1^*$ ,  $z_2^*$  – оптимальные значения масштабирующего параметра и параметров вейвлетной функции  $\Psi_1(x)$  соответственно.

В данном случае оптимальные значения параметров вейвлетной функции (1а) определяются на основе численного решения системы алгебраических уравнений (10) [14].

На рисунке 8 показана оптимальная вейвлетная функция, применяемая для вейвлетного преобразования измеренного магнитометрического сигнала над областью трубопровода с ЗКН металла (рис. 5), полученные на основе минимизации функционала (6).

В таблице 1 приведены оптимальные значения масштабирующего параметра  $a$  и параметров вейвлетной функции  $z_1$ ,  $z_2$ , для преобразования составляющих Н1-Н3 измеренного магнитного поля над стальным трубопроводом с ЗКН металла, полученные по вышеописанной методике. В столбце 6 приводится соответствующее этим параметрам минимальное значение функционала (6).

Из приведенных данных таблицы 1 следует, что для измеренного магнитометрического сигнала над областью стального трубопровода с ЗКН металла:

- значение параметра  $z1$  вейвлетной функции  $\Psi1(x)$  меняется в интервале от 2.5 до 4.5 ед.;

- значение параметра  $z2$  вейвлетной функции  $\Psi1(x)$  меняется в интервале от 5.5 до 7.5 ед.;

- значение масштабирующего параметра вейвлетного преобразования меняется в интервале от 2.5 до 4 ед.

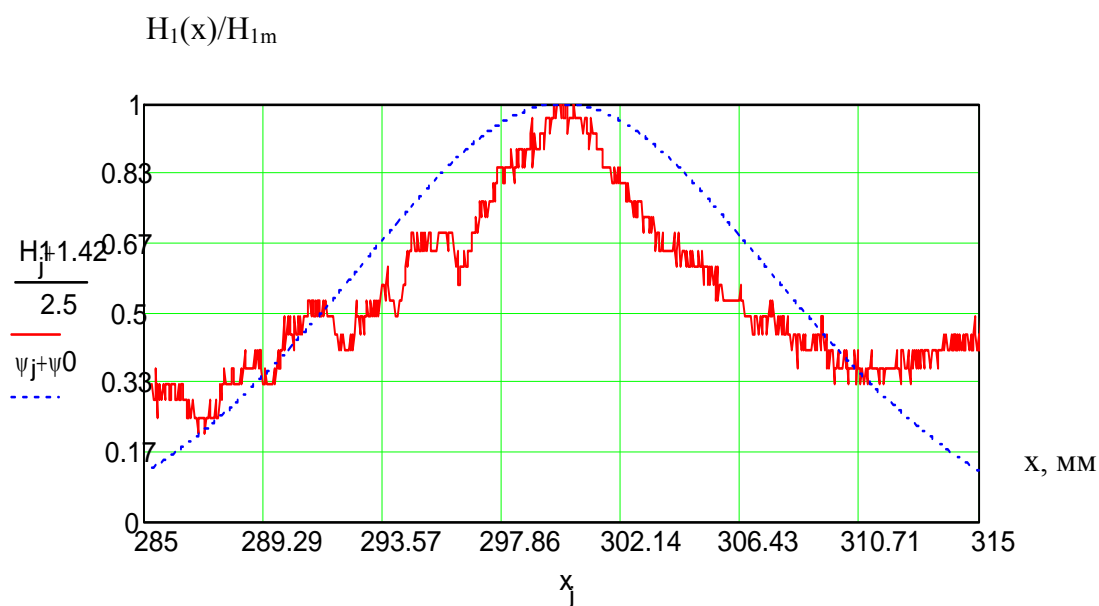


Рис. 8. Распределение продольной составляющей напряженности магнитного поля над областью с ЗКН металла (а) и оптимальная вейвлетная функция (б) кривая \_\_\_\_\_ — измеренный магнитометрический сигнал, ----- — вейвлетная функция

Таблица 1. Оптимальные параметры вейвлетного преобразования магнитометрического сигнала

п/п	Составляющая магнитного поля	a	z1	z2	Fm
1	2	3	4	5	6
1	H1	4.1	2.9	6.95	39.1
2	H1	3.9	3.5	6.45	17.3
3	H1	2.9	2.1	6.7	21.92
4	H1	2.87	2.47	6.64	5.56
5	H1	2.52	3.51	5.56	29.3
6	H2	2.51	4.5	6.62	15.6
7	H2	3.53	3.72	6.54	17.4
8	H3	4.2	2.64	7.62	48.7

Исследования показали, что полученные интервалы значений для оптимальных параметров вейвлетных функций алгебраического типа (1) применимы для вейвлетного преобразования всех составляющих магнитного поля в магнитометрическом сигнале, измеренного над стальным трубопроводом с ЗКН металла.

### Выводы

1. Для вейвлетного преобразования измеренного магнитометрического сигнала прибора М-1 применимы параметрические вейвлетные функции алгебраического типа.

2. Вейвлетное преобразование измеренного магнитометрического сигнала позволяет снизить в них уровень случайного шума в несколько раз, что позволяет существенно повысить надежность выявления областей с ЗКН металла.

3. Интервалы значений для оптимальных параметров вейвлетных функций применимы для вейвлетного преобразования всех составляющих магнитного поля в магнитометрическом сигнале.

*Автор выражает глубокую благодарность за внимание, полезные советы и помощь при выполнении работы доктору технических наук, проф. УГАТУ Р.В. Загидулину.*

### Литература

1. ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования. М.: изд-во стандартов, 1988. 8с.
2. ГОСТ 23563 – 79. Контролепригодность объектов диагностирования. Правила обеспечения. М.: изд-во стандартов, 1986. 16с.
3. СНиП III-42-80\*. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ. М., 1997.
4. Ионин Д.А., Яковлев Е.И. Современные методы диагностики магистральных газопроводов. М.: Недра, 1987. 232 с.
5. Гумеров А.Г., Султанов М.Х. Типовое положение по техническому диагностированию линейной части магистральных нефтепродуктопроводов. Уфа, 1997. 31 с.
6. Zhong W.C. Magnetization of ferromagnetic materials in geomagnetic field by mechanical strain. Principle of metal magnetic memory testing and diagnostic technique // Proceeding of 10th A – PCNDT, 2001; Chinese J. NDT, 2001. – Vol. 23. – No. 10. – P. 424-426.

7. Дубов А.А. Связь напряженно-деформированного состояния котельных труб с распределением в них остаточной намагниченности //Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике: материалы 3 Международ. конф. (18-21 марта 2002 г.). М., 2002. С. 76.
8. Султанов М.Х., Ирмякова Н.Р. Магнитометрия напряженно-деформированного состояния трубопроводов//2-ой Конгресс нефтегазопромышленников России. (25-28 апр. 2000 г.). Уфа: ТПП РБ, 2000. С.112-114.
9. Макаров П.С. Совершенствование методов магнитного контроля напряженно – деформированного состояния конструкции магистральных трубопроводов: дисс... канд. техн. наук. Уфа, 2007. 116 с.
10. Технологический регламент на контроль НДС локальных участков магистральных нефтепродуктопроводов. Утв. ОАО «АК «Транснефте-продукт» / М.Х. Султанов, Р.В. Загидулин, П.С. Макаров. М.: ОАО «АК «Транснефтепродукт», 2005. 38 с.
11. 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.
12. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. //Успехи физических наук. 1996. Т. 166, №11. С.1145 – 1170.
13. Удаление случайного шума из измеренного магнитного поля дефекта сплошности на основе вейвлетного преобразования /Загидулин Р.В.и др. . //Контроль. Диагностика. 2009. №3. С.29 – 33.
14. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Наука, 2003. 632 с.



## PROCESSING OF MAGNETOMETRIC DATA DURING REMOTE DIAGNOSTICS OF UNDERGROUND STEEL PIPELINES

V. V. Konnov

*CJSC Scientific and Production Center "MOLNIYA", Moscow  
e-mail: molkon@bk.ru*

**Abstract.** *For processing of magnetometric signals during remote diagnostics of underground steel pipelines, parametric wavelet functions of algebraic type were applied. It made it possible to reduce in several times the level of random noise and to improve significantly trustworthiness of evaluation of the stress-strain state of the underground steel pipeline metal.*

**Keywords:** *magnetometric signals, pipeline, SSS (strain-stress state) control, wavelet transform, remote diagnostics.*

### References

1. GOST 27518-87. Diagnosing products. General trebovaniya.M.: Publishing house standards, 1988. 8c.
2. GOST 23563 - 79. Testability diagnosis objects. Rules for. Moscow: Publishing House of Standards, 1986. 16c.
3. SNiP III-42-80 \*. Pipelines. Rules of production and acceptance. Moscow, 1997.
4. Jonas DA, EI Yakovlev Modern methods of diagnostics of gas mains. Nedra, 1987. 232 p.
5. Gumerov AG, Sultanov MH Standard provision on technical diagnosis of the linear part of Oil Pipelines. Ufa, 1997. 31 s.
6. Zhong W.C. Magnetization of ferromagnetic materials in geomagnetic field by mechanical strain. Principle of metal magnetic memory testing and diagnostic technique // Proceeding of 10th A - PCNDT, 2001; Chinese J. NDT, 2001. - Vol. 23. - No. 10. - P. 424-426.
7. AA Dubov Relationship of stress-strain state of boiler tubes to the distribution of residual magnetization // Computer Methods and Inverse Problems in nondestructive testing and diagnostics: International Materials 3. Conf. (18-21 March 2002). Moscow, 2002. S. 76.

8. Sultans MH, Irmyakova NR Magnetometry, the stress-strain state of pipelines // second Russian Oil and Gas Congress. (25-28 April, 2000.). Ufa: CCI RB, 2000. P.112-114.

9. Makarov PS Improvement of methods for magnetic control of the stress - strain state of the construction of pipelines: diss ... Candidate. tech. Science. Ufa, 2007. 116.

10. Production schedules for VAT control of local areas of Oil Pipelines. Approved. OJSC "AK" Transneft-product "/ MH Sultans, RV Zagidulin, PS Makarov. Moscow: OJSC "AK" Transnefteproduct ", 2005. 38.

11. Zagidulin RV, Efimov A. Digital signal analysis in electromagnetic inspection. Physical principles and practical applications. // Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG., 2011. -119 S.

12. NM Astafieva Wavelet analysis: basic theory and applications. // Successes of physical sciences. 1996. T. 166, № 11. S.1145 - 1170.

13. Removal of random noise from the measured magnetic field defect continuity based on wavelet / Zagidulin R.V.i al. // Control. Diagnostics. 2009. Number 3. P.29 - 33.

14. Boastful, NS, NP Zhidkov, Kobelkov G. Numerical methods. Moscow: Nauka, 2003. 632.