

наличие функции «отложенной компиляции» и присутствие на рынке большого числа свободно распространяемого ПО является основой для широкого применения данных методов в системах промышленной автоматизации и робототехнике.

Список литературы

1. *Pelc Stephen.* Updating the Forth Virtual Machine. EuroForth. 2008.
2. *Noble J.V.* Scientific FORTH: a modern language for scientific programming. Mechum Banks Publishing, Ivy, VA 1992.
3. *Brodie L.* Thinking FORTH. Englewood Cliffs. Prentice-Hall. 1984.
4. *Hand, T.* The Harris RTX 2000 Microcontroller // Journal of Forth Application and Research. 1990, Vol. 6, No. 1, pp. 5-13.
5. *Pelc Stephen.* Programming Forth. MicroProcessor Engineering Limited. 2005.
6. *Everett F. Carter.* Robots and Finite-State Machines // Dr. Dobb's Journal. 1997. February.
7. *Yiu Joseph, Johnson Ian.* The Many Ways of Programming an ARM® Cortex®-M Microcontroller. 2013. <https://www.eeweb.com>
8. *Noble J.V.* Finite State Machines in Forth. University of Virginia, Charlottesville. 1995.
9. *Бурков А.П., Красильникьянц Е.В.* Принципы построения программного обеспечения систем управления движением. // Автоматизация в промышленности. 2011. №5.

*Бурков Александр Павлович — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
Красильникьянц Евгений Валерьевич — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник
Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина.
Контактный телефон (4932)26-97-52.
E-mail: krev@ispu.ru*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРЯМОШОВНЫХ СВАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Д.А. Проскурин, М.В. Овечкин, Л.В. Галина,

В.Н. Шерстобитова (Оренбургский государственный университет)

Предложена методика получения агрегированных моделей для сигналов вихретокового дефектоскопа при неразрушающем контроле сварных прямошовных труб в процессе их изготовления. Приведено описание эксперимента, проводившегося на вихретоковом дефектоскопе. В качестве примера рассмотрены физически реализуемые идентификационные модели преобразования дефектов в выходной сигнал дефектоскопа. Результаты прошли апробацию на предприятиях: ЗАО «Друза» и ПК «УфаПромГаз» г. Оренбурга.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, дефектоскопия, идентификационная модель, прямошовная сварка.

Согласно ГОСТ 10704-91, к прямошовным сварным изделиям из цельного металла, имеющим круглое или прямоугольное поперечное сечение, относят электросварные трубы.

Трубная отрасль России, традиционно сильная, в настоящее время восстанавливает свои позиции. Одной из проблем производства электросварных труб являются потери, обусловленные большими объемами брака трубной продукции. Решение задачи снижения потерь неразрывно связано с разработкой и внедрением новых способов и средств автоматизации производства и, в частности, автоматизации контроля качества металлоизделий, позволяющих в процессе изготовления изделий осуществлять их дефектацию и разделение на группы по пригодности к эксплуатации в различных условиях [1].

Теоретические основы автоматизированного контроля металлоизделий методами электромагнитной дефектоскопии заложены в трудах А.Л. Дорофеева, Р.Е. Ершова, В.Г. Герасимова, В.В. Ключева, Ю.Я. Останина, Г.С. Самойловича. Благодаря их работам стало возможным в значительной степени автоматизировать процесс контроля качества трубной

продукции. Однако существующие методы разбраковки не обладают необходимой универсальностью и требуемой точностью.

Оценка качества трубной продукции осуществляется в основном за счет выявления дефектов типа нарушения сплошности или однородности металла. Сварные трубы в отличие от цельнотянутых имеют околошовную зону шва. Поэтому выделение и распознавание полезного сигнала на уровне шумов датчика дефектоскопа о состоянии поверхности трубы представляет собой сложную задачу, до настоящего времени не решенную.

К технологическому процессу производства сварных прямошовных труб предъявляются следующие технические требования:

- значительная скорость движения трубы в зоне контроля — до 3 м/с [2];
- использование одного датчика для контроля всего тела труб, включая сварной шов, непосредственно в процессе изготовления трубы;
- возможность быстрой переналадки дефектоскопа на разные диаметры труб (в диапазоне 32...89 мм) [2] и толщины стенок (в диапазоне 2...4 мм) [2].

В соответствии с данными требованиями в качестве объекта исследования выбран вихретоковый дефектоскоп.

На основе анализа выбракованных труб на ЗАО «Друза», ПК «УфаПромГаз», а также по данным Уральского НИИ метрологии выявлены основные разновидности дефектов и зоны их расположения. Установлено, что вид и характер дефектов различны для зоны сварного соединения и зоны основного металла трубы [3]. В соответствии с этим, предложена классификация дефектов в сварных трубах (рис. 1).

В классификации рассматриваются локальные дефекты, имеющие определенные координаты по длине контролируемого участка трубы. При производстве труб объект контроля движется со скоростью до 3 м/с, поэтому более объективным является использование агрегированных параметров, характеризующих, в частности, рельефность [4]. Комплексную оценку рельефности можно получить агрегированием следующих наиболее существенных локальных параметров: степеней равномерности N_a , рассеивания N_q , асимметрии N_{as} , островершинности N_o . Совокупности агрегированных параметров составляют агрегированные модели с одиночными параметрами и модели с комплексом параметров, которые в свою очередь подразделены на аддитивные, мультипликативные и комбинированные. Методы получения агрегированных моделей представлены в [5].

Модели на основе комплекса параметров учитывают значимость входящих в них одиночных параметров следующим образом:

— аддитивные модели:

$$U_{add} = \alpha_1 N_a + \alpha_2 N_q + \alpha_3 N_{as} + \alpha_4 N_o; \quad (1)$$

— мультипликативные модели:

$$U_{mip} = N_a^{\alpha_1} \cdot N_q^{\alpha_2} \cdot N_{as}^{\alpha_3} \cdot N_o^{\alpha_4}; \quad (2)$$

— комбинированные модели:

$$U_{kmb} = \xi S_{add} + (1 - \xi) S_{mip} = \xi (\alpha_3 N_{as} + \alpha_4 N_o) + (1 - \xi) N_a^{\alpha_1} \cdot N_q^{\alpha_2}, \quad (3)$$

где α_i — весовые коэффициенты; ξ — коэффициент, учитывающий степень комбинации моделей.

Модели на основе комплекса параметров названы моделями рельефности поверхности труб, которые в дальнейшем определяются комбинацией четырех параметров N_a , N_q , N_{as} и N_o .

Проведение эксперимента осуществлялось по следующим этапам: создание образцов труб с ис-



Рис. 1. Классификация дефектов труб

кусственными дефектами; изготовление приспособлений для измерения рельефности поверхностей; измерение рельефности поверхности образцов и проведение корреляционного анализа полученных данных; согласование выходных сигналов дефектоскопа с параметрами входных сигналов ЭВМ; непосредственная запись и статистическая обработка оцифрованного сигнала дефектоскопа.

Исходя из норм предельно допустимых дефектов, изготовлены образцы труб диаметром 76 мм и толщиной стенки 3,5 мм с искусственными дефектами. Дефекты выполнены непосредственно в зоне сварного шва в виде рисков и глухих отверстий.

Для проведения механической оценки рельефности поверхности труб использован многофункциональный прибор измерения геометрических параметров «Константа К5».

С помощью проведенного корреляционного анализа рельефности образцов труб установлены основ-

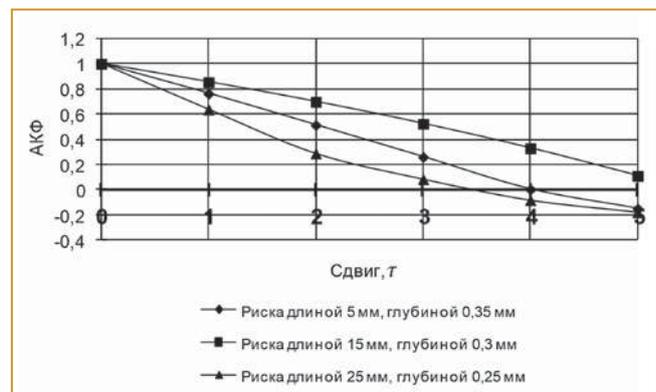


Рис. 2. Автокорреляционные функции рельефности (АКФ) поверхности

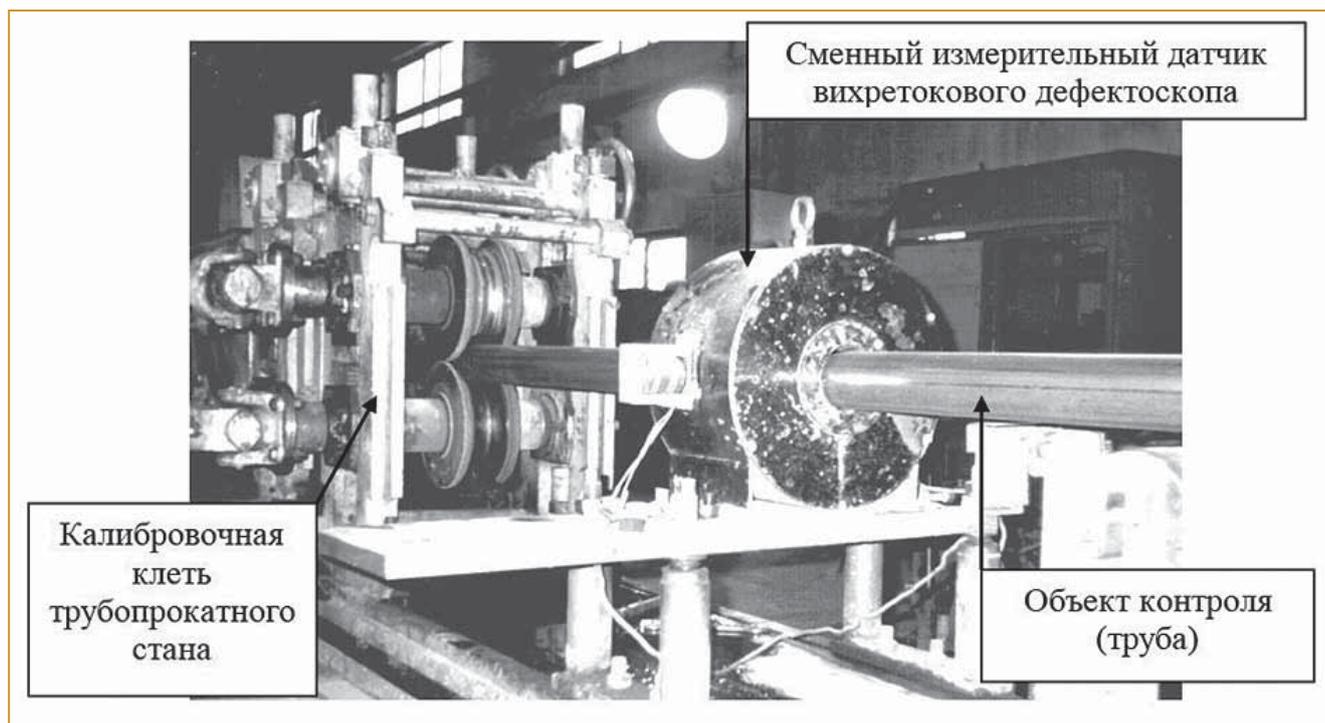


Рис. 3. Схема проведения эксперимента – датчик проходного типа, установленный на стане

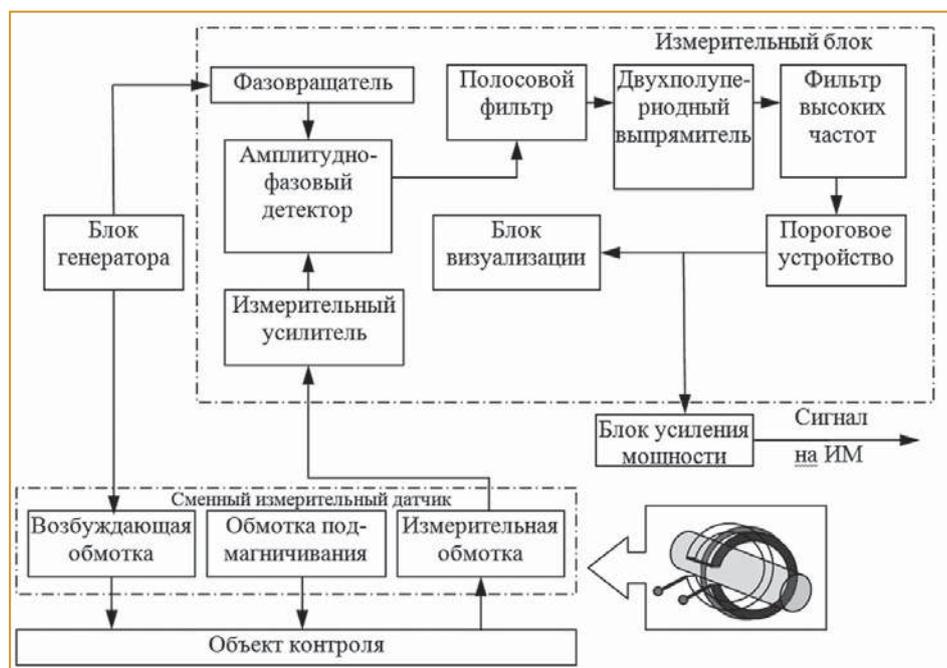


Рис. 4. Функциональная схема электронного блока дефектоскопа

ные статистические характеристики рельефности поверхности. Построены корреляционные матрицы на основе равноотстоящих точек с интервалом дискретизации 1 мм, по которым вычислены корреляционные функции, часть из которых приведена на рис. 2.

Образцы труб исследованы с помощью вихретокового дефектоскопа (рис. 3, 4).

Дефектоскоп предназначен для обнаружения дефектов типа нарушения сплошности на трубах диаметром 20...90 мм из ферромагнитных материалов и сплавов.

Он состоит из трансформаторного датчика проходного типа и электронного блока. Датчик установлен на стане и соединен электрическими кабелями с электронным блоком. Контролируемая труба проходит через отверстие в центре датчика.

Для обеспечения необходимой чувствительности прибора:

- проведены балансировки сменных измерительных датчиков;

- разработана и изготовлена новая схема измерительного блока, отличающаяся от прежней увеличенным коэффициентом усиления измерительного усилителя, улучшенной характеристикой полосового фильтра, наличием индикации уровня сигнала «дефект» [6].

При этом глубина риска, соответствующая порогу чувствительности при соотношении сигнал/шум 13 дБ, составляет 0,25 мм, что соответствует требованиям калибровки и аттестации дефектоскопов стандартного руководства ASTM на вихретоковый E309-83 контроль.

Сигнал дефектоскопа через устройство согласования и ограничение сигнала по максимуму записывается в формате звукового wav-файла. После преобразования из звукового формата амплитудных значений

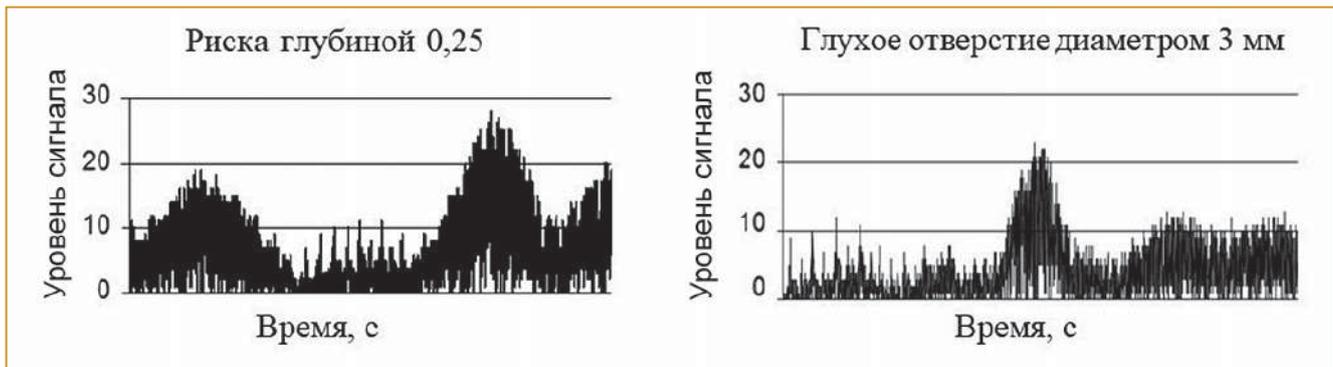


Рис. 3. Схема проведения эксперимента – датчик проходного типа, установленный на стане

сигнала в формат Microsoft Excel получается наглядная картина формы сигнала дефектоскопа (рис. 5).

Следующий этап работы — непосредственно идентификация состояния поверхности электросварных труб. Суть идентификации состоит в определении характеристик объекта на основании экспериментальных данных. Задача идентификации поверхности трубы формулируется в статистической форме. Пусть задана поверхность трубы, проходящая внутри датчика вихретокового дефектоскопа. В процессе дефектоскопии зарегистрированы дефекты поверхности различных типов. По предложенным алгоритмам строятся соответствующие агрегированные модели состояния поверхности, и с их помощью выбираются параметры входа/выхода. В итоге, с учетом принятых допущений строится линейная стационарная модель с входной $u_1(t)$ и выходной $u_2(t)$ переменными, представляющими собой случайные функции неслучайного аргумента t . По результатам измерения строится модель преобразования дефектов в выходной сигнал дефектоскопа в виде оператора $A(t)$. При идентификации определяется не сам оператор, а его приближенная оценка $A^*(t)$, используемая в качестве характеристики неизвестного оператора.

В соответствии с результатами теоретических исследований практическое нахождение идентификационных моделей преобразования дефекта предполагает выполнение следующих процедур:

- вычисление агрегированных моделей по экспериментальным данным;
- нахождение оптимальных по минимальному значению критерия среднего риска агрегированных моделей и использование их для определения параметров входа и выхода;
- вычисление по найденным агрегированным моделям опорных точек¹ авто- и взаимно-корреляционных функций рельефности по входу/выходу;
- аппроксимация авто- и взаимно-корреляционных функций предварительно выбранными из физических соображений зависимостями;
- нахождение оптимальных по критерию минимума среднего риска авто- и взаимно-корреляционных

функций рельефности для входа и выхода и определение по ним класса, типа и группы идентификационной модели;

- нахождение идентификационной модели технического состояния в виде одной из форм передаточной функции на основе соответствующего классификационного выражения;

- нахождение оптимальной по критерию физической осуществимости передаточной функции и внесение допустимых упрощений.

На первом этапе информация о состоянии поверхности труб, записанная в звуковом wav-файле и преобразованная в амплитудные значения сигнала, разбивается на агрегаты. Далее определяются параметры рельефности, и находятся агрегированные модели рельефности поверхности

Вид модели определяется по критерию минимума модуля разности. Например, оптимальная агрегированная модель дефекта «отверстие диаметром 1,3 мм» — комбинированная, поскольку модуль разности между средним значением комбинированной модели и тремя средними модельными значениями составляет 0,015, что является минимальным.

Используя найденные оптимальные агрегированные модели, рассчитаны координаты опорных точек для автокорреляционной функции (АКФ) входа и взаимных корреляционных функций (ВКФ) входа/выхода. Аналитические выражения в соответствии с найденными опорными точками выбраны из семейства аппроксимирующих зависимостей, соответствующих по физическим соображениям изменениям рельефности поверхности труб. Для аппроксимации АКФ и ВКФ использованы семейства зависимостей вида:

$$r_{ii}(\tau) = A \cdot e^{-\alpha|\tau|}, \quad (4)$$

$$r_{ij}(\tau) = A \cdot e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos(w \cdot \tau). \quad (5)$$

По минимуму модуля разности для АКФ и ВКФ находятся оптимальные аппроксимирующие зависимости. Для дефектов типа «отверстие» в качестве аппроксимирующей АКФ $r_{xx}(\tau)$ выбрана зависимость

¹ Опорными точками будем называть первые шесть точек корреляционных функций, которые имеют наибольшую информативную ценность [5].

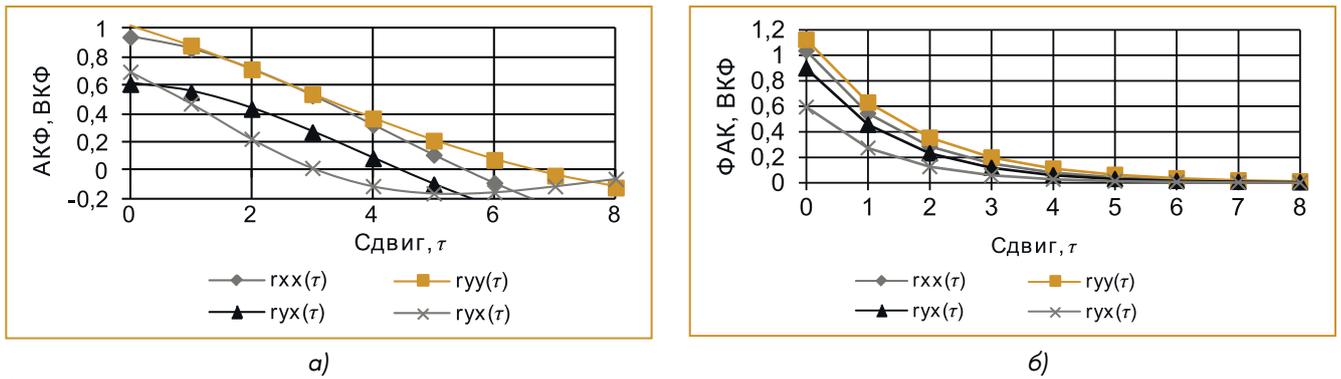


Рис. 6. Графики аппроксимированных автокорреляционных и взаимных корреляционных функций искусственных дефектов: (а) - АКФ и ВКФ для риски длиной 15 мм, глубиной 0,3 мм; (б) - АКФ и ВКФ для глухого отверстия диаметром 2,5 мм

$r_{ii}(\tau) = A \cdot e^{-\alpha|\tau|}$, для ВКФ выбрана зависимость $r_{ii}(\tau) = B \cdot e^{-\beta\tau}$. Для дефектов типа «риска» в качестве аппроксимирующей АКФ $r_{xx}(\tau)$ выбрана зависимость $r_{ii}(\tau) = A \cdot e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos(\omega \cdot \tau)$, для ВКФ выбрана зависимость $r_{ii}(\tau) = B \cdot e^{-\beta\tau} \cdot \cos(\omega \cdot \tau)$. По найденным коэффициентам аппроксимации построены графики автокорреляционных и взаимных корреляционных функций искусственных дефектов (рис. 6).

В соответствии с классификацией, предложенной в [7], при сопоставлении полученных аппроксимирующих зависимостей идентификационная модель в виде передаточной функции для дефектов типа «отверстие» и типа «риска» принимает вид соответственно:

$$G_{отв}(s) = \frac{\frac{B_{yx}}{s + \beta_{yx}} - \frac{B_{xy}}{s - \beta_{xy}}}{A_{xx} \left(\frac{1}{s + \alpha_{xx}} - \frac{1}{s - \alpha_{xx}} \right)},$$

$$G_{риска}(s) = \frac{\frac{B_1(s + \beta_1)}{(s + \beta_1)^2 + \omega_1^2} - \frac{B_2(s - \beta_2)}{(s - \beta_2)^2 + \omega_2^2}}{A_x \left(\frac{s + \alpha}{(s + \alpha)^2 + \omega^2} - \frac{s - \alpha}{(s - \alpha)^2 + \omega^2} \right)}; \quad (6)$$

где s — оператор Лапласа; A, B, α, β — коэффициенты аппроксимации.

После подстановки коэффициентов аппроксимации для конкретных дефектов (при проведении эксперимента использованы риски разной глубины и длины, а также отверстия разного диаметра) получены идентификационные модели в виде оптимальной передаточной функции с позиции ее физической реализуемости.

В качестве примера приведем физически реализуемые идентификационные модели преобразования

дефектов в выходной сигнал дефектоскопа в виде передаточных функций и импульсных переходных характеристик.

Для дефекта типа «Риска» глубиной 0,30 мм, длиной 15 мм:

— передаточная функция:

$$G_{15_03ф.p.1}(s) = \frac{0,0899s^3 + 0,0274s^2 + 0,00944s + 0,00143}{0,107s^3 + 0,0342s^2 + 0,0109s + 0,00288};$$

— переходная функция выходного сигнала дефектоскопа:

$$U_{15_03ф.p.}(t) = 0,116e^{(-0,0154t)} \cos(0,304t) + 0,179e^{(-0,0154t)} \sin(0,304t) + 0,497 + 0,227e^{(-0,289t)};$$

— скорость изменения выходного сигнала дефектоскопа при обнаружении дефекта:

$$V_{15_03ф.p.}(t) = 0,840Dirac(t) + 0,0533e^{(-0,0154t)} \cos(0,304t) - 0,0380e^{(-0,0154t)} \sin(0,304t) - 0,0657e^{(-0,289t)}.$$

Для дефекта типа «Отверстие» диаметром 6,6 мм, глубиной 1,3 мм:

— передаточная функция:

$$G_{отв6,6ф.p.}(s) = \frac{0,173(s + 4,46)(s + 0,379)}{s + 0,301};$$

— переходная функция выходного сигнала дефектоскопа:

$$U_{отв6,6ф.p.}(t) = 0,173Dirac(t) - 0,186e^{(-0,301t)} + 0,972;$$

— скорость изменения выходного сигнала дефектоскопа при обнаружении дефекта:

$$V_{отв6,6ф.p.}(t) = 0,173Dirac(1,t) + 0,785Dirac(t) + 0,0561e^{(-0,301t)}.$$

Наука есть не только знание, но и сознание, то есть умение пользоваться знанием как следует.

Василий Ключевский

Таким образом, на основании методики нахождения агрегированных и идентификационных моделей установлено, что переходные функции для глухих отверстий изменяются монотонно, а для рисков изменяются по затухающим периодическим колебаниям. Используя данную методику нахождения идентификационных моделей поверхностных дефектов труб, можно создать автоматизированную систему контроля и выбраковки труб при их изготовлении. При настройке системы с помощью искусственно созданных дефектов предварительно создается база расчетных выражений дефектов поверхности. В процессе работы дефекты поверхности определяются сравнением текущих значений коэффициентов с эталонными.

Список литературы

1. *Алешин Н.П., Щербинский В.Г.* Радиационная и магнитная дефектоскопия металлоизделий. М.: Высшая школа. 1991. 271 с.

2. *Волченко В.Н.* Контроль качества сварных конструкций. М.: Машиностроение. 1986.
3. *Проскурин Д.А.* Идентификация поверхностных дефектов и автоматизация контроля прямошовных сварных труб: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.06. Оренбург, 2006. 179 с.
4. *Коллакот, Р.* Диагностика повреждений. М.: Мир. 1989. 516 с.
5. *Владов Ю.Р., Коровяковский И.В., Проскурин Д.А.* Прогнозирование технического состояния при аналитической идентификации промышленных объектов: сборник статей всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция производства и ИПИ (CALS) технологии». Оренбург: ИПК ОГУ, 2005. С. 74–78.
6. *Овечкин М.В., Проскурин Д.А., Сергеев А.И., Галина Л.В.* Автоматизация выбора основного технологического оборудования на машиностроительных предприятиях // Теоретический и практический взгляд на современное состояние науки: сборник материалов междунауч.-практ. конф. Кемерово. 2015. С. 92–95.
7. *Владов Ю.Р.* Агрегированные модели и методы аналитической идентификации технического состояния промышленных объектов: диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук 05.13.06. Оренбург. 2005. 349 с.

Проскурин Дмитрий Александрович — канд. техн. наук, доцент,

Овечкин Максим Владимирович — канд. техн. наук, доцент,

Галина Любовь Владимировна — канд. техн. наук доцент,

Щерстобитова Вероника Николаевна — канд. техн. наук, доцент кафедры систем автоматизации производства Оренбургского государственного университета.

E-mail: dimitrpro@mail.ru maxov-1@mail.ru lubov51@yandex.ru sveronika@yandex.ru

Проведена модернизация системы диспетчеризации горводоканала Костромы

В МУП «Костромагорводоканал» успешно выполнены работы по модернизации системы диспетчеризации на базе SCADA КРУГ-2000. «Костромагорводоканал» является одним из крупнейших природопользователей Костромской области. Ежегодно из Волги забирается, проходит очистку, подается населению и предприятиям города около 54 млн. м³ воды, и 40 тыс. м³ воды поступает из артезианских скважин.

Система диспетчеризации (АСДУ) была внедрена НПФ «КРУГ» в 2010 г. За время эксплуатации неоднократно проводились мероприятия по расширению системы силами специалистов МУП «Костромагорводоканал». С момента пуска по настоящее время информационная мощность системы увеличилась более чем в 6 раз.

Модернизация АСДУ проведена в связи с необходимостью автоматического поддержания давления в городской водопроводной сети в соответствии с временным графиком.

В рамках модернизации выполнены следующие работы:

- откорректированы база данных и прикладная программа контроллера насосно-фильтровальной станции (НФС);
- актуализирован графический интерфейс на АРМ оператора НФС;
- откорректированы база данных и графический интерфейс на АРМ диспетчера аварийной службы;
- настроен обмен данными контроллера DevLink-C1000 насосной фильтровальной станции с частотными преобразователями и модулями ввода/вывода DevLink.

Фирмой «КРУГ» удаленно проведены пусконаладочные работы совместно со специалистами МУП «Костромагорводоканал». Это позволило значительно сократить время и стоимость проведения данных работ.

[Http://www.krug2000.ru](http://www.krug2000.ru)

«Северсталь» и УЦСБ завершили один из этапов построения системы защиты

ПАО «Северсталь», одна из крупнейших в мире вертикально интегрированных сталелитейных и горнодобывающих компаний, совместно с ООО «УЦСБ» (входит в ГК «Газинформсервис») успешно завершило первый этап проекта по построению системы защиты критически важных объектов доменного и коксохимического производств ПАО «Северсталь».

В рамках проекта для повышения уровня защищенности от внешних киберугроз и несанкционированного информационного воздействия производственных систем исполнителем был проведен аудит указанных производств, разработан концептуальный проект системы защиты. Были решены задачи по разделению корпоративных и технологических сетей, уменьшению точек их сопряжения, дополнительному сегментированию сетей АСУТП, контролю информационных взаимодействий, предотвращению вредоносных активностей и сетевых аномалий, а также по созданию системы мониторинга событий ИБ, интегрированной с централизованной корпоративной системой управления событиями безопасности.

На заключительном этапе проекта развернута подсистема обеспечения сетевой безопасности и мониторинга на базе программно-аппаратного комплекса оперативного мониторинга информационной безопасности АСУТП ДАТАРК, разработанного УЦСБ. Развернутая система защиты производственных систем позволяет гибко и эффективно реагировать на инциденты информационной безопасности, обеспечивать устойчивое функционирование АСУТП, минимизировать кибер-риски, которые могут привести к негативным последствиям для жизни и здоровью людей, окружающей среды и экономическим потерям.

[Http://www.severstal.com](http://www.severstal.com)