

Ю.Ф. Мухонад¹, А.Ю. Мухонад¹, С.В. Здрачук¹

¹ *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕФЕКТОГРАММ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Рассматриваются вопросы создания алгоритма обнаружения внутренних дефектов изделий цилиндрической формы из композитных материалов. При радиально-поступательном сканировании изделия размеры дефекта определяются как разность начала и конца изменения уровня сигнала ультразвукового или СВЧ дефектоскопа. Сигналы для каждой координаты накапливаются в независимых стеках с обработкой информации на микроконтроллере. Основная функциональная часть информационно-измерительной системы содержит аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер и память в виде двух стеков первого рода и автомат управления. Контроль и диагностика производится на основе управляющих автоматов нового типа, сложность которых при реализации на программируемых логических матрицах снижается в 1,5-3 раза по сравнению с управляющими автоматами Мура и Мили.

Ключевые слова: контроль изделий, композиционные материалы, управление.

Yu. F. Mukhopad¹, A. Yu. Mukhopad¹, S.V. Zdrachuk¹

¹ *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

PRINCIPLES OF CREATING AN INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR ANALYZING FLAW PATTERNS OF CYLINDRICAL PRODUCTS

Abstract. The article deals with the creation of an algorithm for detecting internal defects of cylindrical products made of composite materials. When radially-translational scanning of a product, the size of the defect is determined as the difference between the beginning and end of the change in the signal level of an ultrasonic or microwave flaw detector. Signals for each coordinate are accumulated in independent stacks with information processing on the microcontroller. The main functional part of the information and measurement system contains an analog-to-digital Converter, a microcontroller and memory in the form of two stacks of the first kind and a control machine. Control and diagnostics are performed on the basis of a new type of control automata, the complexity of which, when implemented on programmable logic matrices, is reduced by 1.5-3 times compared to the Moore and Mili control automata.

Keyword: control of products, composite materials, control.

Введение. В настоящее время металлические коррозирующие трубы для перекачки жидкостей и газов заменяются на изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ), базальтоволоконистых материалов или стеклопластика, особенно в системах высокого давления. Трубы, кольца должны быть целостными, т.е. недопустимы в них наличие внутренних непроклеенных слоев, пузырьков и др.[1].

На сегодня разработаны методы дефектоскопии плоскостных изделий из ПКМ [2-4]. Дефектоскопия изделий цилиндрической формы изучена недостаточно.

Дефектоскопия цилиндрических изделий. Дефектоскопия цилиндрических оболочек из композиционных материалов производится ультразвуковым или СВЧ дефектоскопом, построенными по амплитудно-фазовой дифференциальной схеме. Если используется вращательно-поступательное сканирование, то дефектоскоп выдаст сигнал рассогласования при вступлении в зону дефекта и при выходе из этой зоны [5-7]. На рис. 1 представлен дефект на цилиндрической оболочке, а на рис. 2 и 3 – схематическое изображение его на дефектограммах в прямоугольной системе координат.

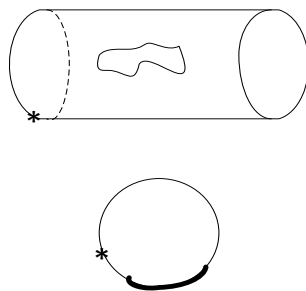


Рис.1. Дефекты цилиндрической оболочки труб

Метка (*) начала сканирования совпадает с нулевой точкой отсчета на рис. 1 и 2. При сканировании изделия для цифровой обработки сигнала должна быть правильно выбрана частота зондирования f .

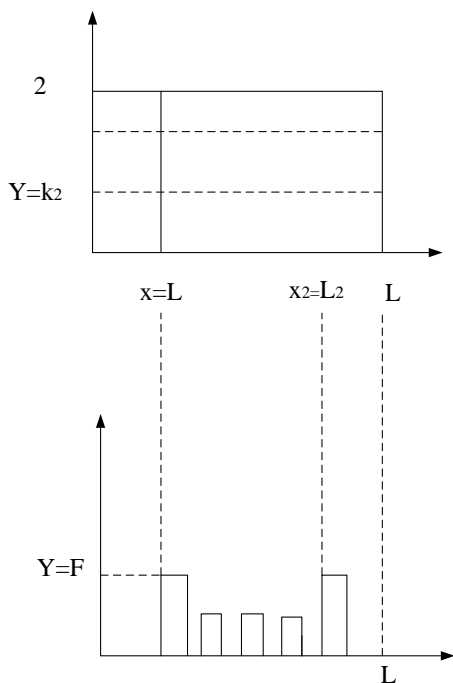


Рис.2. Дефектограмма по длине оболочки

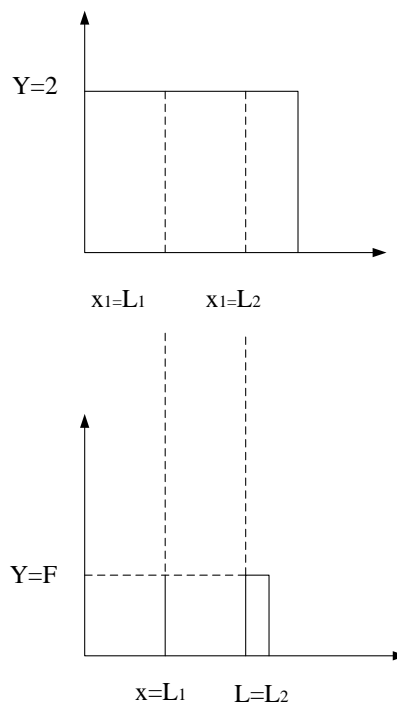


Рис.3. Дефектограмма по кольцу оболочки

Далее используются обозначения:

$\Delta L = L_2 - L_1$ - величина дефекта по длине оболочки;

$h = y_{k1} - y_{k2}$ - величина дефекта по кольцу оболочки;

L - длина оболочки; R - радиус оболочки;

F - величина сигнала с выхода дефектоскопа;

ω - скорость вращательного сканирования;

T - время полного оборота вращения;

δ - величина порога сигнала, при котором отмечается дефектность изделия.

Алгоритм оболочки дефектограмм запишется в следующем виде.

Координаты L_1 , L_2 и величина дефекта по оси $X=L$ определяются по формуле 1:

$$(L_k)_s = \frac{1}{n(n+m)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=j+1}^{n+m} L_i \quad \text{при } F > \delta, \quad (1)$$

3

 $k = 1, 2, 3, \dots, q; \quad s = 1, 2;$
 k - порядковый номер сигнала, обработанного с выхода дефектоскопа,

 $\Delta L = (L_k)_1 - (L_{k+p})_2$ - величина дефекта координаты $y_1 = k_1, y_2 = k_2$ по радиальной координате,

$$(y_e)_s = k_s = \frac{1}{n(n+m)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=j+1}^{n+m} y_i \quad \text{при } F > \delta, \quad (2)$$

 $e = 1, 2, \dots, q$ - порядковый номер обработанного сигнала,

 $h = k_2 - k_1$ - размер дефекта по кольцу оболочки.

 При $h = 2\pi$ - дефект - кольцо.

Использование предлагаемого метода обработки дефектограмм позволяет определить размеры дефекта и его местоположение в координатах развернутой цилиндрической оболочки.

На основе новой методики проектирования алгоритмических систем управления [8] структура системы анализа дефектограмм представлена на рис.4,

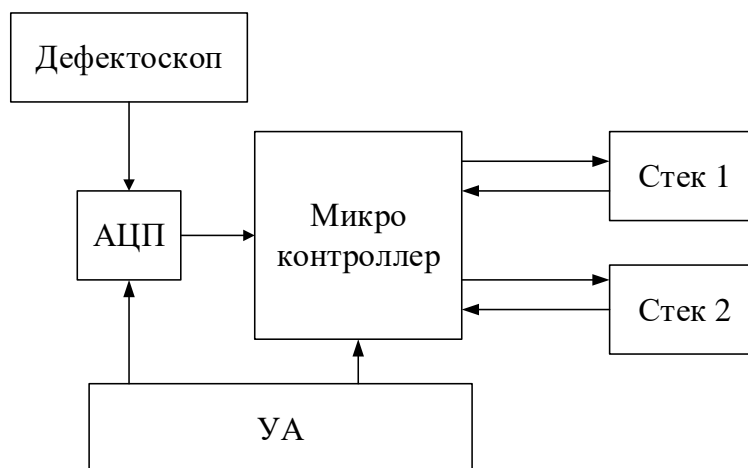


Рис.4. Структурная схема информационно-измерительной системы

где АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

УА – управляющий автомат;

Стек 1 – стековая память для $(n+m)$ замеров;

Стек 2 – стековая память для n замеров.

Для упрощения метода значения n, m целесообразно выбрать равными величинам с целой степенью цифры «2»: $2^{k(n)}, 2^{k(m)}$. Тогда обработка дефектограмм возможна в реальном масштабе времени на простых микроконтроллерах.

Управляющие подсистемы дефектоскопов. При использовании в системе диагностирования адаптивной фильтрации помех и реализации метода по формулам 1 и 2 общая граф-схема управления становится относительно сложной, т.к. число операторов действия $A_0 \dots A_k$ определяет разрядность (m) кода состояний управляющего автомата и равно 6 при числе логических условий (q) ≥ 15 . Автоматы дефектоскопов по существующей классификации [9] относятся к числу высокосложных автоматов, реализация которых через УА Мура и Мили затруднительна и бесперспективна [10], т.к. комбинационные схемы переходов из предыдущего $a(t)$ в последующее $a(t+1)$ состояние реализуется либо на ПЗУ с объемом $V = m_p 2^{m+q}$, либо на программируемой логической матрице (ПЛМ) с числом входов (n) $\geq (m+q)$. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики для сверхпростых (СП), простых (ПА), средней сложности (СА), сложных (АС), высокой сложности (ВС), особо

сложных (ОС) и ультрасложных (УС) автоматов. Управляющая подсистема реализуется реально комплексом взаимодействующих автоматов различной степени сложности.

Таблица 1
Характеристики управляющих автоматов

№	Тип	m	q	m+q	m+1	V	W	K	m _p	Q
1	СП	3	3	6	4	256	64	1,5	4	4
2	ПА	4	6	10	5	2кб	256	2,0	4	8
3	СА	5	9	14	6	128кб	512	2,3	8	256
4	АС	6	12	18	7	2Мб	1кб	2,6	8	2*10 ³
5	ВС	7	15	22	8	32Мб	2кб	2,7	8	16*10 ³
6	ОС	8	18	26	9	0,5Гб	4кб	2,9	8	12*10 ⁴
7	УС	9	21	30	10	12Гб	12кб	3	12	1*10 ⁶
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

В работе [11] предложена новая структурная организация УА с адресной подсистемой в виде (q) двухвходовых элементов «И», одного элемента «ИЛИ» и RS- триггера. В такой структуре УА для реализации комбинационной схемы переходов выбирается одно (единственное) логическое условие, тогда новый объем W ПЗУ станет равным $W = m_p 2^{m+1}$ и для УА класса ВС для той же самой ГСА значение $W = 1$ килобит. При реализации на ПЛМ число ее входов снижается в K раз, где $K = (m+q)/(m+1)$.

Эффективная и простая реализация УА возможна как аппаратным, так и программным способом [12] на простейшем микроконтроллере.

Заключение. Рассмотрен метод дефектоскопии цилиндрических оболочек из полимерных композиционных материалов с помощью амплитудно-фазовой дифференциальной схемы с ультразвуковыми и СВЧ сигналами. Метод основан на статистическом накоплении значений сигналов при вращательно-поступательном сканировании цилиндрических изделий. При этом используется адаптивная фильтрация помех при слабом уровне измерительных сигналов. Алгоритм управления процессом дефектоскопии с адаптивной фильтрацией относится к числу высокосложных, поэтому управляющая подсистема реализуется комплексом управляющих автоматов различной сложности. В статье приводится таблица сравнительной оценки характеристик семи типов автоматов от сверхпростых до ультрасложных. Метод был практически проверен на реальных изделиях контроля и диагностики стеклопластиковых труб с различной длиной и диаметром, но со сложным управляющим автоматом Мура. Настоящая статья ориентирует разработчиков на создание дефектоскопов с простым и эффективным управляющим автоматом нового типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сливинский А.И., Федяева Б.Н. Применение пластиковых труб при прокладке газопроводов // Материалы IV межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Братск: БрГУ.-2011, С.85-90.
2. Лившиц А.В., Филипенко Н.Г., Каргапольцев С.К. Высокочастотная обработка полимерных материалов. Организация системы управления. Иркутск: ИрГУПС, 2013. 170 с.
3. Лившиц А.В., Филипенко Н.Г. Способы выявления металлических и воздушных включений в изделиях из полимерных материалов // Современное оборудование и

технологии неразрушающего контроля ПКМ. Инженерный вестник РАИИ № 1, 2015. С.533-538.

4. Андреев И.Д., Лобанов И.С. Методы неразрушающего контроля из ПКМ // Материалы II международной конференции «Актуальные проблемы авиации и космонавтики». Красноярск, 2016. С. 293-296.

5. Кучина Е.М., Ситожевский С.А. Алгоритм разбраковки стеклопластиковых изделий радиоволновым методом // Сб. Микропроцессорные системы контроля и управления. Новосибирск: НЭТИ,1992. С.222 - 225.

6. Мухопад Ю.Ф., Кучина Е.М., Пеньковская Т.Н. Алгоритм сглаживания по методу последовательных приближений // Сб. Проектирование специализированных вычислителей и систем управления, Иркутск: ИГУ, 1984. С.74 - 76

7. А.с. СССР № 714408. Адаптивный аналого-цифровой фильтр. Мухопад Ю.Ф., Кучина Е.М. Бюл. № 5, 1980.

8. Мухопад Ю.Ф. , Мухопад А.Ю. Алгоритмические системы управления Иркутск: ИрГУПС, 2018.-94 с.

9. Мухопад А. Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени. Новосибирск: Наука, 2015. 176 с.

10. Кудрявцев В. Б., Алешин Ф. Б., Подколзин А. С. Теория автоматов. М.: Юрайт, 2018. 320 с.

11. Патент на полезную модель № 183109. Рос. Федерация. Управляющий автомат Мухопад Ю.Ф., Мухопад А.Ю., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Бюл. № 26. 2018.

12. Мухопад Ю.Ф., Мухопад А.Ю. Программная реализация сложных управляющих автоматов // Автоматика на транспорте, том 6, № 2, 2020. С. 222 -233.

REFERENCES

1. Slivinsky A. I., Fedyaeva B. N. Prmienie plastic pipes when laying gas pipelines // Materials of the IY interuniversity scientific and technical conference of students and postgraduates. Bratsk:BrSU.2011, Pp. 85-90.

2. Livshits A.V., Filipenko N. G., Kargapoltsev S. K. High-Frequency processing of polymer materials. Organization of the management system . Irkutsk: Irgups, 2013. 170p.

3. Livshits A.V., Filipenko N. G. Methods for detecting metal and air inclusions in products made of polymer materials . Modern equipment and technologies for nondestructive testing of PCM /Engineering Bulletin of the RUSSIAN Academy of Sciences No. 1, 2015, Pp. 533-538.

4. Andreev I.D., Lobanov I.S. Methods of nondestructive testing of PCM // Matera. II international Conf. "Actual problems of aviation and cosmonautics". Krasnoyarsk, 2016. Pp. 293-296.

5. Kuchina E. M., Sitozhevsky C.A. Algorithm for disassembly of fiberglass products by radio wave method // Sb. Microprocessor control and control systems. Novosibirsk: NETI,1992. Pp. 222-225.

6. Mukhopad Yu. F., Kuchina E. M., Penkovskaya T. N. Algorithm of smoothing by the method of successive approximations / Sb. Design of specialized computers and control systems, Irkutsk: ISU, 1984. Pp. 74-76.

7. A.s. USSR No. 714408 Adaptive analog-digital filter. Mukhopad Yu. F., Kuchina E. M., BI No. 5, 1980.

8.Mukhopad Yu. F., Mukhopad, A. Yu. Algorithmic control systems. Irkutsk:Irgups,2018.94 p.

9. Mukhopad A. Yu. Theory of control automata of real-time technical systems. Novosibirsk: Nauka, 2015. 176 p.

10. Kudryavtsev V.B., Aleshin F.B., Podkolzin A.S. Theory of automata // Moscow:Yurayt, 2018. 320 p.

11. The patent for useful model No. 183109. Russian Federation, Managing machine / Yu. F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D.C. Puncik - Namzhilov; 2018. Bull. No. 26.

Информация об авторах

Юрий Федорович Мухопад, д. т. н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», заслуженный профессор Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bts48@mail.ru

Александр Юрьевич Мухопад, д. т. н., доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: jcmg@mail.ru

Сергей Владимирович Здрачук, магистрант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: s-zdrachuk@mail.ru

Authors

Yuri Fedorovich Mukhopad, Doctor of Technical Science, Professor, honored worker of science of the Russian Federation, Professor of the Department «Automation of production processes», honored Professor of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bts48@mail.ru

Aleksandr Yuryevich Mukhopad, Doctor of Technical Science, docent, Professor of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: jcmg@mail.ru

Sergey Vladimirovich Zdrachuk, Master's student of the Department "Automation of Production Processes" of the Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, e-mail: s-drachuk@mail.ru

Для цитирования

Мухопад Ю.Ф., Мухопад А.Ю., Здрачук С.В. Принципы создания информационно - измерительной системы анализа дефектограмм цилиндрических изделий // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2021. – №1(9). – С. 1-6 – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.1(9).1-6 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/19-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 31.01.2021)

For citation

Mukhopad Yu.F., Mukhopad A.Yu., Zdrachuk S.V. Principles of creating an information and measurement system for analyzing flaw patterns of cylindrical products // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2021. No. 1(9). P. 1-6. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.1(9).1-6 [Accessed 31/01/21]