

# **ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Н.И. МОЗГОВОЙ, канд. техн. наук, доцент  
Я.Г. МОЗГОВАЯ, канд. техн. наук, доцент  
Е.А. ПАШКОВА, студентка  
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Поступила 22 мая 2015  
Рецензирование 20 июня 2015  
Принята к печати 17 июля 2015

**Мозговой Н. И.** - 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
e-mail: nick\_3@mail.ru

Рассматривается контроль современных композиционных материалов методом акустической эмиссии после механической обработки. Данные материалы широко используются при производстве деталей машин, являясь заменителями цветных металлов (свинца, меди, цинка, латуни, бронзы) и редких материалов с особыми физико-механическими свойствами (легированных сталей). В производственных условиях при проведении измерений и контроля свойств материала приходится разрушать целостность исследуемого образца, что зачастую требует больших затрат средств и времени. Проведенные исследования композиционных материалов позволяют выявить внутренние дефекты, посторонние включения и неоднородность без разрушения изделия методами неразрушающего контроля, в частности, эхо-методом.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, эхо-метод, ультразвук, композиционные материалы, качество поверхности, управление процессом, обработка материалов.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-3-42-48

## **Введение**

Среди новых конструкционных материалов особое место принадлежит композиционным материалам (бортпластик, углепластик, стеклопластик) и синтетическим смолам. Они широко используются при производстве машин, являясь заменителями цветных металлов (свинца, меди, цинка, латуни, бронзы) и редких материалов с особыми физико-механическими свойствами (легированных сталей). Этим и объясняется широкое использование композиционных материалов для изготовления огромной номенклатуры деталей машин.

Для большинства композиционных материалов характерны следующие физико-механические свойства, которые позволяют им конкурировать с металлами [1–3]: высокая коррозионная стойкость; высокие электроизоляционные свой-

ства; высокая удельная и абсолютная механическая прочность; низкая трудоемкость изготовления деталей из композиционных материалов; низкий коэффициент трения; высокая износостойкость.

Одновременно композиционным материалам присущи следующие недостатки [4–6]: низкая теплостойкость и теплопроводность; выраженные свойства ползучести, особенно ярко заметные у термопластов; малая жесткость (модуль упругости композиционных материалов (стеклопластиков) на порядок ниже, чем у металлов); ухудшение физических свойств под действием температуры, влажности, света, воды.

В процессе изготовления и механической обработки в композиционных материалах могут возникать следующие дефекты [7–9]:

– наличие раковин и пузырей, которые образуются в результате неплотной набивки формы

при прессовке и литье, при выделении газов в результате химической реакции;

– трещины, возникающие под действием внешних и внутренних напряжений при термическом воздействии, прессовании заготовок в готовые изделия;

– ослабление механических свойств в результате нарушения химического состава (зоны пониженного или повышенного содержания связующего) и технологии изготовления;

– расслоения, возникающие в результате перерывов в литье или при сборке пакетов из разнородных материалов, загрязнений соединяемых поверхностей.

Для выявления данных дефектов могут быть использованы методы с разрушением целостности исследуемого образца или методы неразрушающего контроля качества композиционных материалов. Методы неразрушающего контроля широко применяются для нахождения дефектов, измерения толщины, измерения влажности, исследования мест сварки в пластмассовых трубах, исследования качества соединений пластмассовых труб и фитингов с помощью связующих растворов. Известны три основных метода применения ультразвука для обнаружения внутренних дефектов: теневой, эхо-метод и резонансный [13–15]. Они позволяют обнаружить дефекты, посторонние включения и неоднородности без разрушения изделия [10–12], а также оценить физические свойства, характеризующие прочность и надежность соединений.

Методы неразрушающего контроля широко применяются для деталей из металлов и сплавов на их основе, но для выявления дефектов в изделиях из композиционных материалов не используются из-за отсутствия научной информации, справочных данных и других рекомендаций.

Целью работы является выявление внутренних дефектов в деталях из композиционных материалов эхо-методом и своевременное исключение из технологического процесса деталей, имеющих дефекты на стадии заготовительной операции и в процессе механической обработки.

### Материалы и методы исследования

В качестве исследуемого материала выбрано оргстекло ИЮПАК: Poly (methyl 2-methylpropenoate), которое состоит из термопластичной смо-

лы с характеристиками: температура плавления 160 °С; плотность 1,18 г/см<sup>3</sup>; температура кипения 200 °С.

На производстве при проведении измерений и контроля свойств материала используют методику с разрушением целостности исследуемого образца, что зачастую требует больших затрат средств и времени. Здесь применяется акустический (ультразвуковой) метод неразрушающего контроля качества композиционных материалов, который заключается в использовании способности ультразвуковых колебаний проникать с большой скоростью (до 12 000 м/с) в материал и отражаться от поверхности раздела сред с различными акустическими свойствами. Для выявления внутренних дефектов исследуемого образца был применен эхо-метод. Условия проведения эксперимента представлены в табл. 1.

В ходе подготовки к проведению экспериментальных исследований поверхность заготовки была очищена спиртовым раствором Terostat-450 от загрязнений, препятствующих обеспечению акустического контакта. Затем на поверхность исследуемого образца для улучшения процесса сканирования наносилась контактная жидкость «Гель ультразвуковой». Дефектоскоп ультразвуковой «Пеленг» УД2-102 настроен на уровень чувствительности 57 дБ, что дает возможность выявлять дефекты с эквивалентной площадью 2 мм<sup>2</sup>. Минимальное расстояние от поверхности ввода до дефекта при контроле составляет 5 мм. Параметры исследования и измеряемые величины представлены в табл. 2.

Обработка экспериментальных данных, записанных в память дефектоскопа в виде протокола контроля, проводилась на компьютере с использованием программного обеспечения Microsoft Excel. Для убеждения в однородности результатов наблюдений, исключения экспериментальных ошибок и отброса ошибочных опытов были проведены исследования экспериментального образца эхо-методом, а затем методом с разрушением целостности исследуемого образца. Для анализа данных, полученных двумя методами, были получены дефектограммы. При обнаружении участков с эквивалентной площадью несплошности более 2 мм<sup>2</sup> фиксировался внутренний дефект в виде несплошности и записывались данные о детали, выявленном дефекте

Таблица 1

### Условия проведения эксперимента

| Объект контроля                              | Исследуемый образец   |
|--|---|
| Материал                                     | Оргстекло   |
| Акустический (ультразвуковой) метод контроля | Эхо-метод   |
| Цель испытания                               | – Проверка заготовки детали из оргстекла на наличие внутренних несплошностей<br>– заключение о дальнейшей пригодности заготовки в зависимости от критериев браковки |
| Оборудование                                 | – Дефектоскоп ультразвуковой «Пеленг» УД2-102;<br>– стандартный образец СО-1(из оргстекла)<br>– прямой ПЭП (П111-5), частота 5 МГц                                  |
| Вспомогательное оборудование                 | Штангенциркуль  |
| Критерий браковки                            | Эквивалентная площадь несплошности не менее 2 мм <sup>2</sup>   |
| Вспомогательные материалы                    | Контактная жидкость «Гель ультразвуковой»   |

Таблица 2

### Параметры исследования и измеряемые величины

|   |          |
|---|----------|
| Скорость распространения ультразвука  | 2670 м/с |
| Частота   | 5 МГц    |
| Угол ввода  | 0°       |
| Время ПЭП   | 1,65 мкс |
| Длина развертки   | 48       |
| Начало строга   | 5        |
| Конец строга  | 38       |
| Мертвая зона (минимальное расстояние от поверхности ввода до дефекта, выявляемого при контроле) | 5 мм     |

и параметрах контроля в виде протокола исследования (рис. 1).

Обнаруженный участок в виде несплошности считается недопустимым дефектом, так как амплитуда от эхо-сигнала превышает уровень выбраковки. Для количественной оценки адекватности полученных данных были проведены однофакторные эксперименты. Сравнение результатов экспериментов, проведенных методом с разрушением целостности исследуемого образца и эхо-методом подтверждает их адекватность, наибольшее расхождение составляет 6 %.

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований эхо-методом на глубине 25,9 мм исследуемого образца были выявлены недопустимые дефекты в виде несплошности (рис. 2). Обнаруженная несплошность является недопустимым дефектом, так как амплитуда от эхо-сигнала превышает уровень браковки на 5 децибел. Дальнейшее использование такой заготовки для изготовления продукции не допускается.

Полученные данные позволяют утверждать, что эхо-метод неразрушающего контроля применим при исследовании дефектов для изделий из композиционных материалов. Однако для формирования технологических рекомендаций по применению данного метода на производстве, необходимо выполнить ряд экспериментов для других конструкционных материалов, построить математические модели.

Дальнейшая разработка рекомендаций по применению эхо-метода и применение их на машиностроительных предприятиях позволит сократить время на весь производственный цикл за счет сокращения времени на операцию контроля, соответственно получить экономический эффект от сокращения сроков производства, уменьшить затраты на операцию контроля, исключить вероятность разрушения годных деталей при контроле разрушающими методами. Кроме этого применение эхо-метода позволяет

ПРОТОКОЛ №  / 211 ОТ 16.04.2015 15:04:27  
 ультразвукового контроля дефектоскопом  
 \*PELENG\* УД2-102 № 7821 версия 3.63  
 ПРЕДПРИЯТИЕ  **АлтГТУ**  
 Подразделение  Дата контроля 16.04.15 16:29  
 ОПЕРАТОР: шифр 0 фамилия и.о.   
 ОБЪЕКТ: тип  основн.металл толщина 0.00 мм  
 материал  оргстекло № 001 порядк.№ 2  
 НТД на контроль   
 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ: ОТРАЖАТЕЛЬ № 000000  
 Коорд.по дл./сеч.объекта 0 м 11 мм 0.0 час Расстояние X 0.00 мм  
 Глубина Y 25.90 мм  
 Время распротр.УЗК T 19.40 мкс  
 Амплитуда N 5 дБ  
 Усл. протяженность  0 мм  
 Усл. высота  0 мм



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОПЕРАТОРА:**  
 Присутствует признак дефекта.

**ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ ДЕФЕКТОСКОПА:**  
 Настройка № 115 РАЗВЕРТКА: 120% Длит. 48.1 ммY 36.0 мкс  
 Частота УЗК 5.00 МГц Зона ВС-1: Начало 5.0 ммY 3.8 мкс  
 Скорость УЗК 2670 м/с Порог 50% Конец 38.0 ммY 28.5 мкс

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ:**  
 Усиление 57 дБ  
 Треб. чувств. 0 дБ  
 Фактич. чувств. -17 дБ

**ПЭП: № 038** ВРЧ: ручная Начало 5.0 ммY 3.8 мкс  
 Включение совмещ Ампл. 30 дБ Конец 38.0 ммY 28.4 мкс  
 Угол ввода 0 град До ВРЧ 0 дБ Форма -11  
 Время ПЭП 1.6 мкс После ВРЧ 0 дБ  
 Стрела 0 мм

Рис. 1. Протокол ультразвукового контроля дефектоскопом

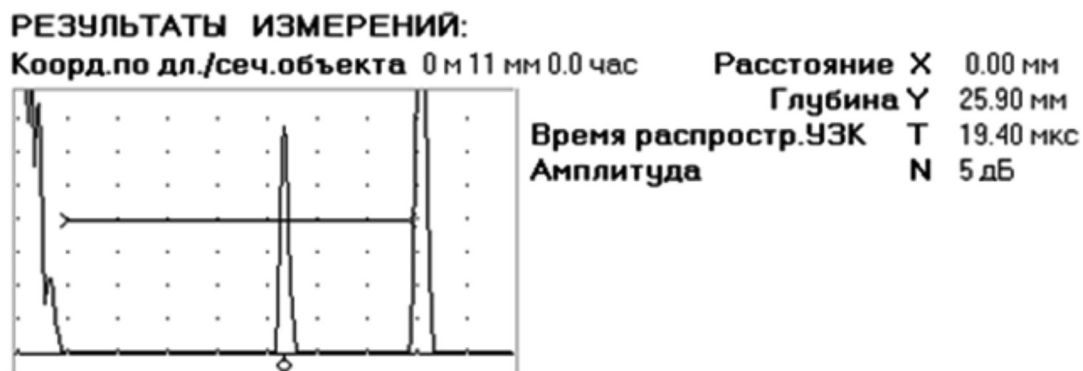


Рис. 2. Дефектограмма участка заготовки с выявленным внутренним дефектом

повысить качество операции контроля за счет снижения вероятности попадания бракованных заготовок и деталей в дальнейшую обработку или сборку.

## Выводы

Проведенные исследования позволили выявить недопустимые дефекты, посторонние включения и неоднородности без разрушения изделия методом неразрушающего контроля, в частности эхо-методом. Эхо-метод применим для выявления скрытых дефектов в композиционных материалах.

Использование данных исследований и методов неразрушающего контроля на предприятиях позволит своевременно исключать из технологического процесса детали, имеющие дефекты на стадии заготовки и в процессе механической обработки, тем самым сократить время и затраты на производство на 12–15 %.

Для формирования технологических рекомендаций на производственных предприятиях по применению эхо-метода необходимо провести ряд дополнительных экспериментов, которые позволят создать технологические рекомендации.

## Список литературы

1. *Рогов В.А., Позняк Г.Г.* Современные машиностроительные материалы и заготовки: учебное пособие. – М.: Академия, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-7695-4254-1.
2. *Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм, В.Ф. Безъязычный, В.С. Волков, Л.Б. Гай, В.А. Гречишников, А.И. Зайцев, С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев, Г.А. Лавров, Б.В. Медведь, В.Б. Савин, А.П. Соловьев, А.З. Старосельский, А.Г. Схиртладзе, А.С. Тарапанов, З.А. Фарберов, Г.А. Харламов, Л.Н. Чеканова, Л.Б. Чернявский, Н.П. Шестаков; под общ. ред. А.А. Панова.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с. – ISBN 5-94275-049-1
3. *Мозговой Н.И., Мозговая Я.Г.* Особенности обработки отверстий в деталях из стеклопластика // Седьмая Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в промышленности» (ИТ' 2012), 30–31 октября 2012 года, Минск: тезисы докладов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2012. – С. 207–209. – ISBN 978-985-6744-78-8.
4. *Мозговой Н.И., Мозговая Я.Г.* Исследования влияния физико-механических свойств стеклопластиков на процесс резания // Вестник Алтайской науки. – 2013. – № 2–1. – С. 15–20.
5. *Мозговой Н.И., Марков А.М., Доц М.В.* Стеклопластик и особенности его механической обработки. – Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 100 с.
6. *Мозговой Н.И., Марков А.М., Мозговая Я.Г.* Проблемы и перспективы применения пластических материалов для деталей машиностроения // Ползуновский альманах. – 2013. – № 2. – С. 92–95.
7. *Бондарь Е.Б., Марков А.М.* Проблемы обработки пластмасс резанием // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2004. – № 2 (23). – С. 20–21.
8. *Материаловедение. Технология композиционных материалов: учебник / А.Г. Кобелев, М.А. Шаронов, О.А. Кобелев, В.П. Шаронова.* – М.: Кнорус, 2014. – 270 с.
9. *Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н.* Визуальный и измерительный контроль: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 300 с.
10. РД 03–606–03. Инструкция по визуальному измерительному контролю: утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 11.06.2003 № 92: зарег. 20.06.2003: введ. в действие 17.07.2003. – М.: ФГУП «НТЦ “Промышленная безопасность”», 2003. – 101 с.
11. *Ультразвуковой эхо-импульсный метод неразрушающего контроля [Электронный ресурс]: электронные методические указания / Самарский государственный аэрокосмический университет / сост: Д.Ю. Киселев, И.М. Макаровский.* – Самара: СГАУ, 2010. – 15 с. – URL: [http://www.ssau.ru/files/education/metod\\_1/Киселев Д.Ю. Ультразвуковой эхо-импульсный.pdf](http://www.ssau.ru/files/education/metod_1/Киселев Д.Ю. Ультразвуковой эхо-импульсный.pdf) (дата обращения: 22.05.2015).
12. *Каневский И.Н., Сальникова Е.Н.* Неразрушающие методы контроля: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
13. *Ермолов И.Н., Ланге Ю.В.* Неразрушающий контроль. Т. 3. Ультразвуковой контроль: справочник / под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.: ил. – ISBN 5-217-03224-3.
14. *Measurement technologies. Remote visual inspection.* – USA: General Electric Company, 2007.
15. *Advances in three dimensional measurement in remote visual inspection [Electronic resource] // 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16–20 April 2012, Durban, South Africa.* – URL: [http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/320\\_wcndtfinal00320.pdf](http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/320_wcndtfinal00320.pdf) (accessed: 22.05.2015).

**OBRABOTKA METALLOV**

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 3(68), July – September 2015, Pages 42–48

**The use of acoustic control method for parts made of composite materials****Mozgovoy N.I.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: nick\_3@mail.ru**Mozgovaya Y.G.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: yanagm@mail.ru**Pashkova E.A.**, Student, e-mail: genya\_pashkova@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

**Abstract**

The control of modern plastic materials using acoustic emission after machining is considered. These materials are widely used in the production of machine parts, as substitutes for non-ferrous metals (lead, copper, zinc, brass, bronze) and rare materials with specific physical and mechanical properties (alloyed steels). The production conditions for measurement and control of material properties is necessary to destroy the integrity of the test sample, which is often costly and time. In the test applied acoustic (ultrasonic) method for non-destructive quality control of plastics, which is to use the ability of ultrasonic waves to penetrate at high speed (up to 12,000 m / s) in the material and reflected from the surface of media with different acoustic properties. The method used to find defects, thickness measurement and moisture measurement, study welds in plastic tubes, studies joint quality plastic pipes and fittings using binder solutions. There are three basic methods of application of ultrasound to detect internal defects: shadow, echo method and resonance. Studies plastics reveal the internal defects, debris and heterogeneity without destroying the product NDT methods, in particular the echo method. Data is written to the memory flaw in a protocol of control. Graphically defectogram detected defect is fixed, specified data on the details of identified defects and parameter control. The test sample is detected with an inner portion of a defect in a discontinuity that belongs to unacceptable defects, since the amplitude of the echo signal exceeds the level of rejection. Using the survey data, and nondestructive inspection in enterprises allow to make timely adjustments in manufacturing processes and machining thereby reducing the time and costs of production.

**Keywords:**

non-destructive testing, the echo method, ultrasound, plastic materials, surface quality, process control, processing of materials.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-3-42-48

**References**

1. Rogov V.A., Poznyak G.G. *Sovremennyye mashinostroitel'nye materialy i zagotovki* [Modern engineering materials and blanks]. Moscow, Publ. center "Academia", 2008. 336 p. ISBN 978-5-7695-4254-1
2. Panov A.A., Anikin V.V., Boim N.G., Bez'yazychnyi V.F., Volkov V.S., Gai L.B., Grechishnikov V.A., Zaitsev A.I., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Lavrov, Medved' B.V., Savin V.B., Solov'ev A.P., Starosel'skii A.Z., Skhirtladze A.G., Tarapanov A.S., Farberov Z.A., Kharlamov G.A., Chekanova L.N., Chernyavskii L.B., Shestakov N.P. *Ob-rabotka metallov rezaniem: spravochnik tekhnologa* [Metalcutting: directory of industrial engineer]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 784 p. ISBN 5-94275-049-1
3. Mozgovoy N.I., Mozgovaya Ya.G. [Processing features holes in parts made of glass-fiber material]. *Tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Informatsionnye tekhnologii v promyshlennosti"* [Proceedings of the VII International Scientific Conference "Information Technologies in Industry" (ITI'2012)]. Minsk, UIIP NAS Belarus Publ., 2012, pp. 207–209. ISBN 978-985-6744-78-8
4. Mozgovoy N.I., Mozgovaya Ya.G. Issledovaniya vliyaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv stekloplastikov na protsess rezaniya [Investigations of the influence of physical and mechanical properties of glass-fiber material on the cutting process]. *Vestnik Altaiskoy nauki – Bulletin of the Altai Science*, 2013, no. 2–1, pp. 15–19.
5. Mozgovoy N.I., Markov A.M., Dots M.V. *Stekloplastik i osobennosti ego mekhanicheskoi obrabotki* [Glass-fi-ber material and features of its machining]. Saarbrücken, Germany, LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 100 p.

6. Mozgovoy N.I., Markov A.M., Mozgovaya Ya.G. Problemy i perspektivy primeneniya plasticheskikh materialov dlya detalei mashinostroeniya [Problems and perspectives of the use of plastic materials for machine parts]. *Polzunovskii al'manakh – Polzunov Almanac*, 2013, no. 2, pp. 92–95.
7. Bondar' E.B., Markov A.M. Problemy obrabotki plastmass rezaniem [Problems processing plastic cutting]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2004, no. 2, pp. 20–21.
8. Kobelev A.G., Sharonov M.A., Kobelev O.A., Sharonova V.P. *Materialovedenie. Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov* [Materials science. The technology of composite materials]. Moscow, Knorus Publ., 2014. 270 p.
9. Kalinichenko N.P., Kalinichenko A.N. *Vizual'nyi i izmeritel'nyi kontrol'* [Visual and measuring control]. Tomsk, TPU Publ., 2009. 300 p.
10. RD 03–606–03. Instruction for the visual and measurement control. Moscow, FGUP “NTTs “Promyshlennaya bezopasnost'” Publ., 2004. 101 p. (In Russian)
11. Kiselev D.Yu., Makarovskii I.M., comps. *Ul'trazvukovoi ekho-impul'snyi metod nerazrushayushchego kontrolya* [The ultrasonic pulse-echo method of nondestructive test]. Available at: [http://www.ssau.ru/files/education/metod\\_1/Киселев Д.Ю. Ультразвуковой эхо-импульсный.pdf](http://www.ssau.ru/files/education/metod_1/Киселев Д.Ю. Ультразвуковой эхо-импульсный.pdf) (accessed 22.05.2015)
12. Kanevskii I.N., Sal'nikova E.N. *Nerazrushayushchie metody kontrolya* [Nondestructive inspection methods]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2007. 243 p.
13. Ermolov I.N., Lange Yu.V. *Nerazrushayushchii kontrol'. Spravochnik. V 7 t. Pod obshchei red. V.V. Klyueva. T. 3: Ul'trazvukovoi kontrol'* [Nondestructive inspection. Reference. Vol. 3: Ultrasonic inspection. Ed. by Klyuev V.V.]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 864 p. ISBN 5-217-03224-3
14. *Measurement technologies. Remote visual inspection*. USA, General Electric Company, 2007.
15. Hubben E.B., Jervis D. Advances in Three Dimensional Measurement in Remote Visual Inspection. *Proceedings 18th World Conference on Nondestructive Testing*, Durban, South Africa, 16–20 April 2012. Available at: [http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/320\\_wcndtfinal00320.pdf](http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/320_wcndtfinal00320.pdf) (accessed 22.05.2015)

#### Article history:

Received 22 May 2015

Revised 20 June 2015

Accepted 17 July 2015