

УДК 620.179.162

**Щеголев Сергей Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»  
Россия, Саратов<sup>1</sup>  
Аспирант кафедры АУМ  
E-Mail:shchegolevs@gmail.com

**Мотков Александр Геннадьевич**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»  
Россия, Саратов  
Аспирант кафедры АУМ  
E-mail:alexmotkov@gmail.com

## **Комплексный автоматизированный метод выявления дефектов колец подшипников**

**Аннотация.** В работе рассмотрен комплексный автоматизированный метод выявления дефектов колец подшипников качения колесной пары вагона на основании ультразвукового и виброакустического методов неразрушающего контроля. Основной целью разрабатываемого метода является возможность проведения экспресс-оценки состояния колец в условиях железнодорожных ремонтных предприятий с целью разбраковки неремонтопригодных и восстановления путем шлифования поверхностного слоя подшипника качения.

Описаны алгоритмы предлагаемых методов и работа системы, включающей в себя оба метода. Результатом работы такой системы является получение пользователем отчета о состоянии кольца: является ли он дефектным или нет, размере дефекта, его координатах, глубине залегания. При этом поиск дефектов происходит в два этапа. На первом этапе производится виброакустическая диагностика кольца. Время, затрачиваемое на его проведение, составляет порядка 10 секунд. Результатом является заключение о наличии, либо отсутствии дефекта в кольце. Второй этап заключается в проведении ультразвукового контроля, на который затрачивается около 5 минут. При наличии дефекта результатом являются его характеристики: размер, координаты, глубина залегания. При отсутствии – подтверждение виброакустического метода. Таким образом, производится подтверждение одного метода другим.

**Ключевые слова:** дефект; кольцо подшипника; автоматизация контроля; виброакустический метод; ультразвуковой метод; подвижный состав; дефектоскоп; динамометрический молоток; аналого-цифровой преобразователь; ремонтное предприятие.

Идентификационный номер статьи в журнале 110TVN414

---

<sup>1</sup> 410054, ул. Политехническая, 77

Соблюдение требований к обеспечению безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта является приоритетным направлением политики ОАО «РЖД». В условиях ремонтных депо реализуются лаборатории неразрушающего контроля, позволяющие производить анализ основных частей подвижного состава с целью выявления дефектов. Лаборатории применяют в своей работе различные методы, в частности, ультразвуковой, магнитопорошковый, вихретоковый, виброакустический и другие [1,2,3,10]. Приведенные методы требуют значительных временных затрат на проведение диагностики. Поэтому в современных условиях необходимым условием является реализация возможности проведения экспресс-оценки состояния различных деталей и узлов. Экспресс-оценка невозможна без проведения процедуры автоматизации.

Колесная пара является основным узлом подвижного состава, на который приходится основная нагрузка. Вследствие этого она подвержена наибольшему износу и своевременное обнаружение дефектов позволяет продлить срок службы. Подвижной частью колёсной пары является буксовый подшипник, именно на него приходится основная нагрузка.

Для дефектоскопии буксовых подшипников повсеместно применяется на ремонтных предприятиях ОАО «РЖД» магнитопорошковый метод, автоматизация которого является затруднительной, вследствие этого всё чаще применяется автоматизированный вихретоковый метод, который способен обнаружить только поверхностные и подповерхностные дефекты на глубине в доли миллиметра. В связи с этим невозможным является обнаружение дефектов, которые позволяют обнаружить только три метода: рентгеновский, ультразвуковой и виброакустический. [4,5]

По техническим параметрам подшипники подвергаются статистическому контролю по альтернативному признаку в соответствии с требованиями ГОСТ 18242 и нормативного документа на статистический приемочный контроль подшипников, утвержденного в установленном порядке. В этом случае возможна проверка применением другого метода дефектоскопии. Если каждый из выбранных методов показывает наличие дефекта, то дефект подтверждается и деталь бракуется.

Рентгеновский метод является дорогостоящим и вредным для здоровья человека, поэтому, остановимся на двух других методах.

Автоматизированный виброакустический метод построен на возбуждении в исследуемом объекте виброакустических колебаний единичным импульсом. Импульсное входное воздействие создается при помощи ударного (динамометрического) молотка AU02, на котором установлен датчик и АС21, который позволяет измерять переданную объекту силу. На объект исследования устанавливается пьезометрический акселерометр AP2037-100 (вибропреобразователь) преобразующий виброакустические колебания кольца подшипника в напряжение, пропорционально зависящее от виброускорения. Вибропреобразователь устанавливается на объект исследования при помощи магнита с изолирующей шпилькой, что позволяет легко менять его местоположение. Фиксируемая сила удара и виброускорение, измеряемое акселерометром передаются на согласующийся модуль, который, в свою очередь, согласует и усиливает электрические параметры датчика силы и вибрации. Затем сигналы подаются через АЦП на компьютер, где происходит их обработка.

Структурная схема измерительной системы представлена на рисунке 1 [6].



**Рис. 1.** Структурная схема системы исследования частотных характеристик с помощью импульсного воздействия

Установка содержит:

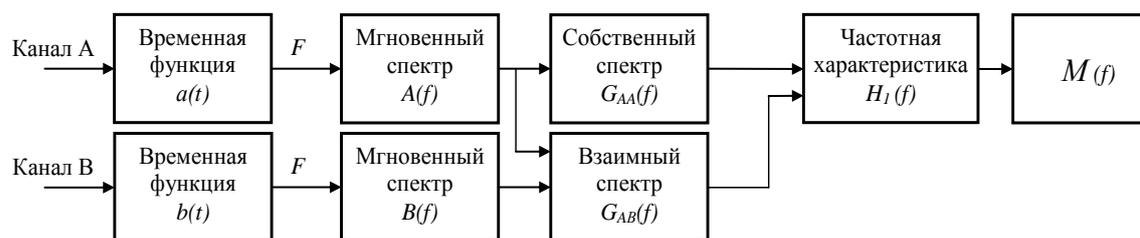
- Импульсный молоток AU02, с установленным датчиком силы AC21.
- АЦП ЛА2-USB.
- Датчик вибрации AP2037-100.
- Согласующий модуль AG01-3.
- Персональный компьютер IBM PC.

Получение частотных характеристик динамической системы наружного кольца основывается на взаимном анализе импульсного воздействия динамометрическим молотком и отклика кольца, получаемого в виде виброакустического (ВА) сигнала.

Для анализа сигналов, получаемых с импульсного молотка и с кольца подшипника через датчик вибрации используется специальное программное обеспечение (ПО) - анализатор ВА колебаний.

Алгоритм работы анализатора представлен на рисунке 2.

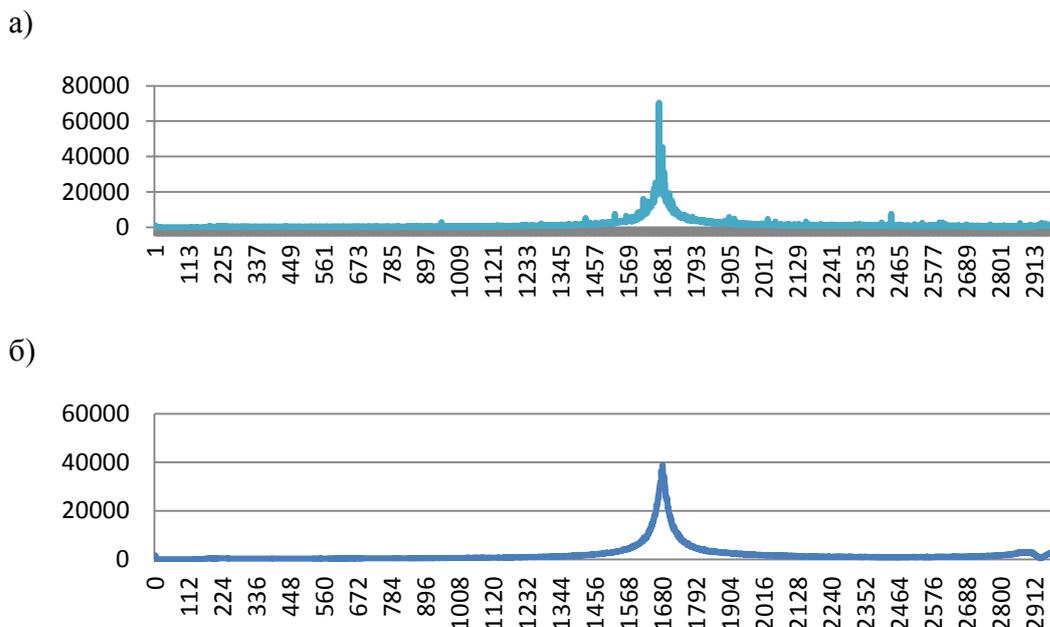
На вход анализатора поступают временные сигналы  $a(t)$  и  $b(t)$ , которые преобразуются в цифровой вид. Полученные сигналы в цифровом виде представляют собой серию данных. На основании этих данных производится анализ ВА колебаний.



**Рис. 2.** Принципиальная блок схема алгоритма двухканального анализатора ВА колебаний

Для анализа состояния колец подшипника нам необходимо определить значение добротности определяется из амплитудо-частотной характеристики (АЧХ) кольца подшипника. Добротность представляет собой отношение резонансного значения амплитуды на собственной частоте кольца подшипника к значению амплитуды на частоте, равной 0. [7]

На рисунке 3 представлены самые характерные примеры (АЧХ) бездефектного и дефектного кольца.



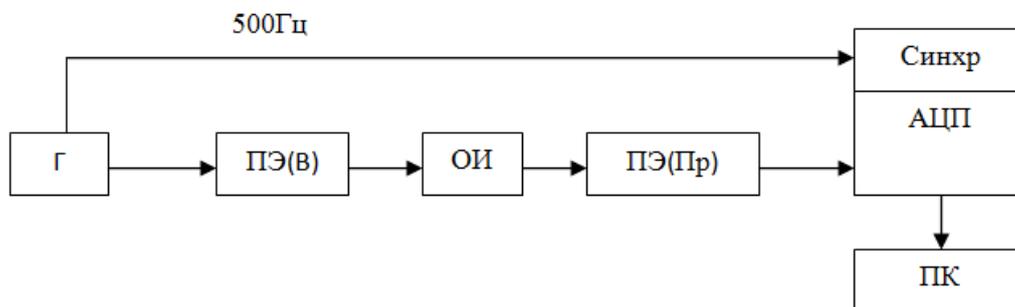
**Рис. 3.** Амплитудно-частотные характеристики бездефектного кольца (а) и кольца, содержащего дефект (б).

На основании полученных графиков определяется добротность для каждого из колец:

- а)  $Q = \omega_k / \Delta\omega = 71561 / 30 = 2385$
- б)  $Q = \omega_k / \Delta\omega = 39560 / 156 = 253,5$

Таким образом, можно сделать вывод, что данный метод позволяет определить дефектность кольца. При этом вся операция не занимает больше 10 секунд.

Для поиска дефектов колец подшипников с применением ультразвукового метода контроля используется промышленная модель дефектоскопа – УД2-12. Автоматизация метода подразумевает подключение дефектоскопа к персональному компьютеру (ПК) с целью обработки на нем полученных данных, полученных в ходе сканирования. На рисунке 4 представлена реализуемая система может быть представлена в виде структурной схемы, в состав которой входят следующие основные блоки.



**Рис. 4.** Структурная схема реализуемой системы

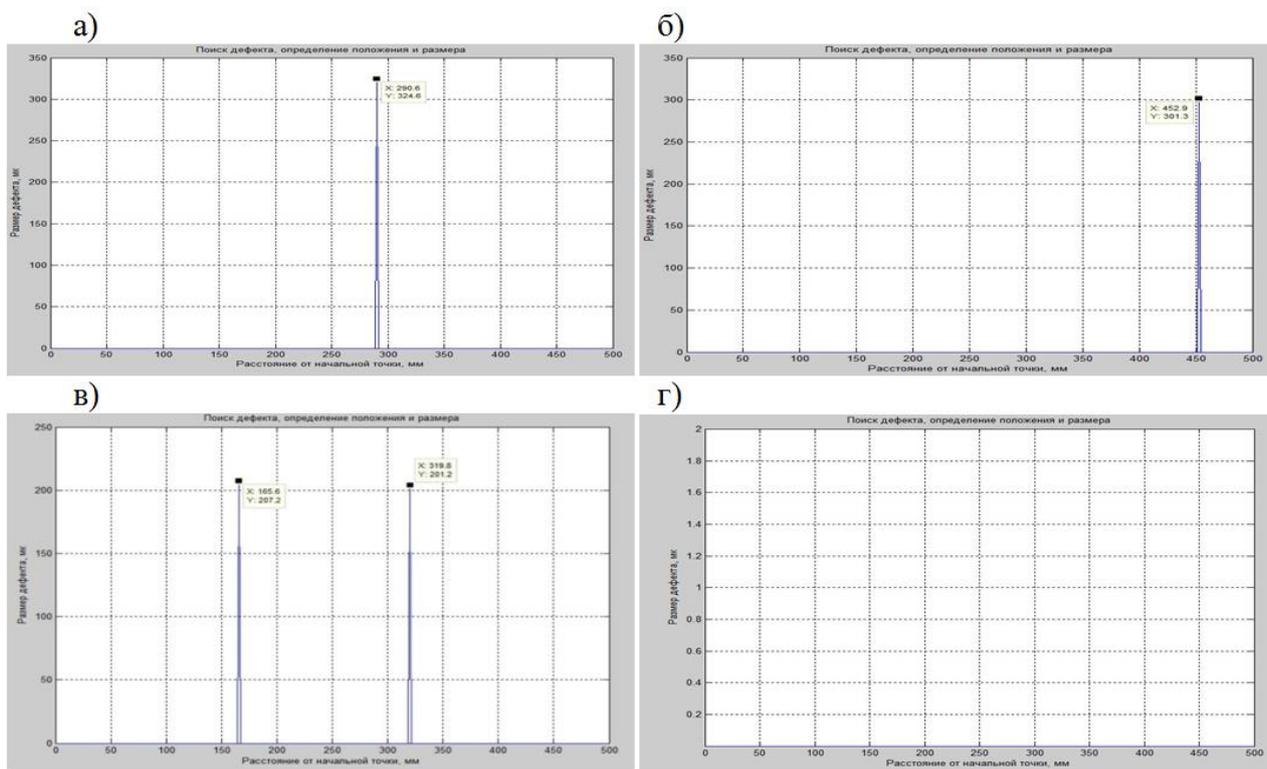
где Г – генератор импульсов, ПЭ(В) – пьезоэлектрический преобразователь (возбудитель сигнала), ОИ – объект исследования, ПЭ(Пр) – пьезоэлектрический преобразователь (приемник сигнала), АЦП – аналого-цифровой преобразователь, Синхр – синхронизатор, ПК – персональный компьютер.

Существует проблема, связанная с прямым подключением дефектоскопа к ПК, решаемая за счет вывода аналогового сигнала с осциллографа через аналого-цифровой преобразователь (АЦП), в данном случае ЛА2-USB. В результате такого подключения на ПК передается массив данных в виде ординат импульсов, полученных на осциллографе и записанных через равные промежутки времени. При этом абсцисса изменяется на равные значения и зависит от частоты записи ординат. В разрабатываемом методе по оси абсцисс откладывается расстояние от точки, выбранной началом отсчета, в миллиметрах. Для подтверждения правильности вывода информации на ПК строится график по полученным координатам. График полностью соответствует фиксируемому на осциллографе дефектоскопа УД2-12. Таким образом, в массив произведена запись координат точек, по которым возможно проводить дальнейшую обработку.

Сканирование поверхности кольца подшипника происходит в  $n$  проходов пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП). Число  $n$  зависит от ширины исследуемого кольца подшипника и ширины ПЭП. В случае разрабатываемой системы используется ПЭП П121-10-40-002 с шириной рабочей области 16 мм. Кольцо подшипника имеет ширину 68 мм. Следовательно, требуется 5 проходов ПЭП по поверхности. На каждом участке производится двукратная запись результатов, которая занимает 50 секунд. Это значение получено на электродвигателе и неизменно. Обработка массивов данных, записанных на одном участке, и вывод результатов на экран ПК, происходит параллельно со сканированием следующего участка. Таким образом, время, которое необходимо затратить на поиск дефектов в одном кольце, составит приблизительно 5 минут. Все операции, связанные с перемещением ПЭП по поверхности выполняются в автоматическом режиме.

После выполнения преобразований массива и математических расчетов, выполненных по заложенным в программу выведенным формулам для определения размера дефекта и глубины его залегания, происходит построение графика и вывод основных характеристик дефекта, если он имеется. От оператора требуется только произвести смену партии и выполнить рекомендации ПК относительно каждого из проверенных колец.

Для градуировки дефектоскопа выполнен поиск дефектов в образцах с дефектами известных геометрических размеров и глубины залегания. Погрешности в данном случае составили не более 4%. Произведена серия экспериментов на кольцах, полученных для проверки после их эксплуатации, в результате которой построены графики, примеры которых представлены на рисунке 5. По этим графикам можно судить о наличии дефекта, его местоположении и размере.



**Рис. 5.** Графики, характеризующие наличие, положение (291мм от точки начала сканирования) и размер дефекта (325мкм) (а); наличие, положение (453мм от точки начала сканирования) и размер дефекта (301мкм) (б); наличие, положение (166мм и 320мм от точки начала сканирования) и размер дефекта (207мкм и 201мкм соответственно) (в); отсутствие дефектов (г) колец подшипников

Результаты автоматического поиска дефектов на обоих этапах полностью согласуются с данными, полученными в процессе ручного поиска специалистами лаборатории неразрушающего контроля.

Совместное использование данных методов позволяет производить оперативный автоматизированный поиск дефектов, взаимно подтверждая друг друга. [8,9] При этом, для анализа совместно используется АЦП ЛА2-USB и согласующий модуль АГ01-3. С них поступает сигнал на ПК, где обрабатывается при помощи специализированного программного обеспечения, позволяющего одновременно работать как с данными, поступающими с ультразвукового дефектоскопа, так и с динамометрического молотка и акселерометра. Тем самым снижается себестоимость оборудования, и повышается доступность данной установки и её надёжность.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что данные методы пригодны для использования при экспресс-анализе колец подшипников в условиях ремонтных предприятий с целью разбраковки и дальнейшего восстановления работоспособности кольца подшипника путем их перешлифовки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика / В.В. Ключев. М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
2. Криворудченко В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта / Р.А. Ахмеджанов, В.Ф. Криворудченко. М.: Маршрут, 2005. 436 с.
3. Балдев Р. Применения ультразвука / Р. Балдев, В. Раджендран, П. Паланичами. – М.: Техносфера, 2006. – 576 с.
4. Щеголев С.С., Мотков А.Г. Оценка состояния колец подшипников с применением ультразвукового и акустического методов // Вестник СГТУ
5. Щеголев С.С. Экспериментальное обнаружение неоднородностей в строении внешнего кольца подшипника качения колесной пары вагона // С.С. Щеголев, А.Г. Мотков, В.В. Погораздов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сборник научных трудов. Саратов: Изд-во СГТУ, 2013. – с. 202 – 206.
6. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления / Е.А. Никулин СПб.: БХБ-Петербург, 2004. 640 с.
7. Гельман Л.М. Виброакустический метод свободных колебаний при неразрушающем контроле трещин / Л.М. Гельман, С.В. Горнилич // Акустичний вісник, 1999. т.2. №4, с. 13-22.
8. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, В.Е. Маркова, Ю.В. Грановский - М.: Наука, 1976. - 321 с.
9. Щеголев С.С., Мотков А.Г. Автоматизация распознавания дефектов колец подшипников качения колесной пары вагона / Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее // Сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-наука-общество», 2012. – с.158-159.
10. J.C. Drury. Ultrasonic Flaw detection For Technicians. 3-d ed, Imex Gr., 2004

**Рецензент:** Игнатьев Александр Анатольевич профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация, управления, мехатроника», доктор технических наук, Россия, Саратов, ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (ФГБОУ ВПО СГТУ).

**Sergey Shchegolev**

Saratov state technical university of a name of Gagarin Yu.A.  
Russia, Saratov  
E-Mail: [shchegolevs@gmail.com](mailto:shchegolevs@gmail.com)

**Alexander Motkov**

Saratov state technical university of a name of Gagarin Yu.A.  
Russia, Saratov  
E-mail: [alexmotkov@gmail.com](mailto:alexmotkov@gmail.com)

## **The complex automated method of detection of defects of rings of bearings**

**Abstract.** In work the complex automated method of detection of defects of rings of rolling bearings of wheel couple of car on the basis of ultrasonic and vibroacoustic methods of nondestructive control is considered. Main objective of a developed method is possibility of carrying out an express assessment of a condition of rings in the conditions of railway repair shops for the purpose of grading not maintainable and restoration by repolishing.

Algorithms of offered methods and work of the system including both methods are described. Receiving by the user of the report on a condition of a ring is result of work of such system: whether it is defective or not, the extent of defect, its coordinates, a depth. Thus search of defects happens in two stages. At the first stage vibroacoustic diagnostics of a ring is made. Time spent for its carrying out, makes about 10 seconds. The conclusion about existence, or lack of defect in a ring is result. The second stage consists in carrying out ultrasonic control for which about 5 minutes are spent. With defect its characteristic are result: size, coordinates, depth. At absence – confirmation of a vibroacoustic method. Thus, confirmation of one method by another is made.

**Keywords:** vibroacoustic method; ultrasonic method; control automation; defect; bearing ring; mobile structure; defectoscope; dinamometrichecky hammer; analog-digital converter; repair shop.

Identification number of article 110TVN414

## REFERENCES

1. Kljuev V.V. Nerazrushajushhij kontrol' i diagnostika / V.V. Kljuev. M.: Mashinostroenie, 2003. 656 s.
2. Krivorudchenko V.F. Sovremennye metody tehnicheckoj diagnostiki i nerazrushajushhego kontrolja detalej i uzlov podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta / R.A. Ahmedzhanov, V.F. Krivorudchenko. M.: Marshrut, 2005. 436 s.
3. Baldev R. Primenenija ul'trazvuka / R. Baldev, V. Radzhendran, P. Palanichami. – M.: Tehnosfera, 2006. – 576 s.
4. Shhegolev S.S., Motkov A.G. Ocenka sostojanija kolec podshipnikov s primeneniem ul'trazvukovogo i akustičeskogo metodov // Vestnik SGTU
5. Shhegolev S.S. Jeksperimental'noe obnaruzhenie neodnorodnostej v stroenii vneshnego kol'ca podshipnika kachenija kolesnoj pary vagona // S.S. Shhegolev, A.G. Motkov, V.V. Pogorazdov // Avtomatizacija i upravlenie v mashino- i priborostroenii: sbornik nauchnyh trudov. Saratov: Izd-vo SGTU, 2013. – s. 202 – 206.
6. Nikulin E.A. Osnovy teorii avtomatičeskogo upravlenija / E.A. Nikulin SPb.: BHB-Peterburg, 2004. 640 s.
7. Gel'man L.M. Vibroakustičeskij metod svobodnyh kolebanij pri nerazrushajushhem kontrole treshhin / L.M. Gel'man, S.V. Gornilich // Akustičnij visnik, 1999. t.2. №4, s. 13-22.
8. Adler Ju. P. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij / Ju.P. Adler, V.E. Markova, Ju.V. Granovskij - M.: Nauka, 1976. - 321 s.
9. Shhegolev S.S., Motkov A.G. Avtomatizacija raspoznavanija defektov kolec podshipnikov kachenija kolesnoj pary vagona / Aktual'nye problemy nauki i obrazovanija: proshloe, nastojashhee, budushhee // Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-praktičeskoi konferencii. – Tambov: Izd-vo TROO «Biznes-nauka-obshhestvo», 2012. – s.158-159.
10. J.C. Drury. Ultrasonic Flaw detection For Technicians. 3-d ed, Imex Gr., 2004