

УДК 534.6.08:624-21-9

*НЕДАВНИЙ ОЛЕГ ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
kirpich@mail.tomsknet.ru*

*СМОКОТИН АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ, зав. лабораторией,  
smokotinav@gmail.com*

*БОГАТЫРЕВА МАРИЯ МИХАЙЛОВНА, аспирант,  
mar289@rambler.ru*

*ПРОТАСОВА ИРИНА БОРИСОВНА, аспирант,  
aim\_one@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ БЕТОНА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Статья посвящена обзору результатов практического применения ультразвукового низкочастотного дефектоскопа А1040М «Полигон» с целью установления технического состояния железобетонных конструкций. Сформулированы цели и задачи обследования. Приведены томограммы внутренней структуры участков конструкции, сканирование которых проводилось. Отмечены достоинства и недостатки примененного в процессе обследования эхо-импульсного метода.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль; эхо-импульсный метод; визуализации внутренней структуры; томографическая обработка; техническое состояние.

*OLEG I. NEDAVNI, DSc, Professor,  
kirpich@mail.tomsknet.ru*

*ALEKSANDR V. SMOKOTIN, Head of Laboratory,  
smokotinav@gmail.com*

*MARIYA M. BOGATYREVA, Research Assistant,  
mar289@rambler.ru*

*IRINA B. PROTASOVA, Research Assistant,  
aim\_one@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,  
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

### **PULSE-ECHO TECHNIQUE USED AT NON-DESTRUCTIVE TESTING OF CONCRETE SUPPORTING CONSTRUCTIONS**

The paper presents the results of practical application of the ultrasonic low-frequency flaw detector 'Polygon' A104M. These results allow the estimation of technical condition of concrete supporting constructions. Goals and objectives of this estimation are given in this paper. Also, it includes tomograms of the internal structure of the structural scanned parts as well as the description of advantages and disadvantages of the pulse-echo technique used in this investigation.

**Keywords:** non-destructive testing; pulse-echo technique; internal structure visualization; tomographic processing; technical condition.

В современной практике технического контроля зачастую возникают ситуации, когда нельзя прибегнуть к отбору проб или вырезке образцов непосредственно из материала объекта. Значительный вклад в решение этой проблемы вносит применение методов неразрушающего контроля и диагностики (НКиД), основанных на различных принципах измерения.

Одним из наиболее распространенных и безопасных является акустический метод неразрушающего контроля (АМНК)<sup>1</sup>, основанный на применении упругих колебаний.

К положительным отличительным свойствам акустического вида контроля можно отнести: возможность контроля при одностороннем доступе к объекту контроля (ОК); относительно высокую дефектоскопическую чувствительность; возможность дефектоскопии многих материалов в широком диапазоне толщин; малые массогабаритные характеристики аппаратуры и низкое энергопотребление; санитарную и экологическую безопасность; относительно невысокую стоимость процедур контроля [1].

Необходимость решения проблемы максимального продления сроков безаварийной работы основных конструктивных элементов зданий и сооружений, выполненных из железобетона, и оценка их технического состояния привели к активизации использования средств АМНК как наиболее экономичных и эффективных. АМНК позволяют определять прочностные характеристики бетона, обнаруживать поверхностные дефекты, визуализировать внутреннюю структуру изделий с целью поиска инородных включений, пустот и трещин внутри материала.

В 2012–2014 гг. авторами, в составе рабочих групп, было проведено обследование бетонных конструкций (ленточных фундаментов, фундаментной плиты существующих зданий и несущих конструкций строящегося здания) ряда зданий в г. Томске с целью визуализации внутренней структуры материала и установления технического состояния конструкций. Обследование проводилось с использованием средств АМНК – ультразвукового томографа А1040М «Полигон»<sup>2</sup>.

Целью проведения обследований являлось нахождение в теле железобетонных конструкций (ЖБК) внутренних дефектов в виде трещин, пустот, каверн, раковин и т. д., негативно влияющих на техническое состояние, с применением приборов неразрушающего контроля. В соответствии с заявленной целью были определены следующие задачи исследований:

- 1) выбор приборов и оборудования, позволяющего с высоким качеством провести соответствующие исследования;
- 2) выбор и подготовка характерных участков для обследования;

<sup>1</sup> ГОСТ 20415–82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения. М. : Росстандарт, 2009.

<sup>2</sup> ГОСТ 18353. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. М. : Росстандарт, 2010.

- 3) получение экспериментальных данных при проведении полевых исследований на выбранных участках;
- 4) камеральная обработка полученных экспериментальных данных;
- 5) анализ полученных результатов, формулирование выводов в соответствии с заявленной целью исследований.

Для обследования ЖБК был выбран ультразвуковой низкочастотный дефектоскоп А1040М «Полигон». Данный прибор (томограф) является многофункциональным устройством, обеспечивающим решение задач неразрушающего контроля бетона с использованием низкочастотного (20–100 кГц) ультразвукового диапазона и томографических методов обработки сигналов. Томограф состоит из двух основных частей – антенного устройства (АУ) и переносного компьютера и сконструирован таким образом, что позволяет визуализировать внутреннюю структуру изделий и конструкций из железобетона и камня при одностороннем доступе к ним с целью поиска инородных включений, пустот и трещин внутри этих материалов, а также определения состояния силовой арматуры в железобетоне. Томограф А1040М может работать как в составе автоматизированных установок, так и применяться для ручного контроля. Томограф А1040М «Полигон» обеспечивает контроль эхо-методом при одностороннем доступе к объекту, при этом контроль ведется без применения контактной жидкости. Полученные в процессе контроля сигналы передаются в цифровом виде на внешний компьютер для томографической обработки [8].

Особенностями томографа А1040М «Полигон» являются:

- сухой акустический контакт;
- контроль эхо-методом при одностороннем доступе к объекту;
- фазированная антенная решетка с возможностью изменения количества элементов;
- томографическая обработка сигналов на внешнем компьютере [9];
- представление данных в виде трехмерных образов и томограмм В- или С-типа;
- адаптация антенного устройства А1040М к неровностям поверхности контроля;
- визуализация внутренней структуры практически в режиме реального времени для более простой интерпретации результатов контроля;
- фокусирующая антенная решетка А1040М из 40 элементов – лучшее разрешение и повышенная чувствительность системы, при этом обеспечивается фокусировка в каждой точке полупространства;
- автоматическая калибровка на объекте с 8 позиций;
- измерение средней скорости прохождения ультразвука;
- компенсация поверхностной SH-волны, что обеспечивает более чистый образ в ближней зоне;
- томографическая обработка данных (САФТ-алгоритм) [2, 3, 5–7].

Существует два способа обследования объектов с помощью томографа: местный контроль и сплошной контроль.

Местным контролем называется способ работы, когда оператор ставит АУ в произвольные места поверхности объекта и наблюдает структуру сече-

ния объекта в данном месте. Полученный результат позволяет сразу получить нужную информацию об исследуемом объекте или же выбрать направление, куда лучше сместить АУ для получения более полной информации.

Местный контроль проводится тогда, когда необходимо решить достаточно простые задачи, которые не требуют полного обследования объекта, а лишь контроля нескольких локальных мест.

Сплошным контролем называется последовательная установка АУ на поверхность обследования объекта с получением данных и обязательным их сохранением. Направление и шаг смещения АУ определяется заранее и не меняется в течение контроля вне зависимости от получаемых на экране ПК изображений. Для проведения сплошного контроля необходима предварительная разметка объекта с требуемым шагом. Перед проведением сплошного контроля имеет смысл проверить работу томографа проведением местного контроля [4].

При визуализации объекта и его сечений программа использует трехмерную декартову систему координат, которая привязана к положению АУ на объекте (рис. 1). При полном обследовании большой площади объекта АУ постоянно смещается в одном направлении (вдоль оси  $X$ ) с заданным шагом. Изображения сечений от каждого положения объединяются в трехмерную матрицу данных объекта, на основе которой строятся три взаимно перпендикулярных сечения исследуемого объекта –  $B$ ,  $C$  и  $D$ -срезы.

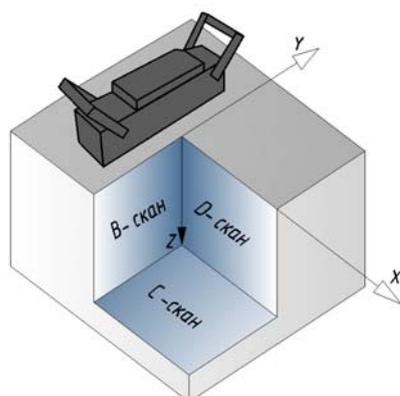


Рис. 1. Привязка АУ томографа к трехмерной декартовой системе координат. Плоскости  $B$ ,  $C$  и  $D$ -срезов, изображаемые на экране ПК

Перед проведением контроля была составлена схема сканирования, представляющая собой направления и шаг сканирования антенного устройства по поверхности исследуемого объекта. Вся поверхность объекта на расчетных участках была разделена на полосы шириной 500 мм произвольной длины (рис. 2). Направление сканирования было как вертикальное (при сканировании лент участков ленточного фундамента), так и горизонтальное (на участках сканирования фундаментной плиты и плит перекрытия); шаг сканирования 50–100 мм; глубина полосы контроля – от 250 до 2500 мм; ширина полосы контроля – 500 мм.

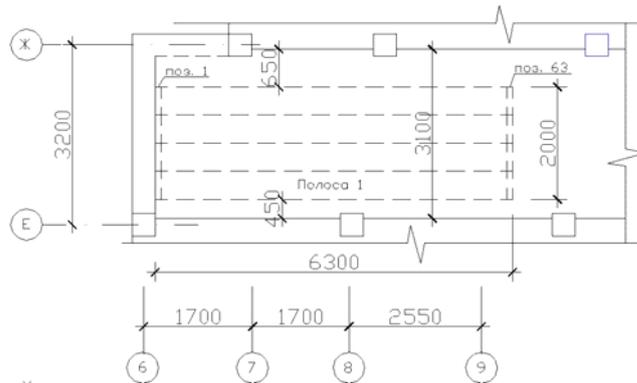


Рис. 2. Схема расположения полосы прозвучивания № 1 монолитной плиты перекрытия

При сканировании намеченных участков обследования были получены массив информации, представленный в виде томограмм трех взаимно перпендикулярных сечений исследуемого объекта, обработка и анализ которых позволили сделать заключение о внутренней структуре бетона конструкции. Фрагменты срезов томограмм участков сканирования обследуемых бетонных конструкций приведены на рис. 3–6. Места усиления цветовой гаммы, представленные на томограммах красным цветом, свидетельствуют о наличии в этих участках среды (отражающая поверхность) с отличными от материала конструкции (бетона) акустическими свойствами [10]. Отражающей поверхностью в данном случае является неоднородность бетона в виде воздушных пустот, каналов, раковин, а также арматурные стержни.

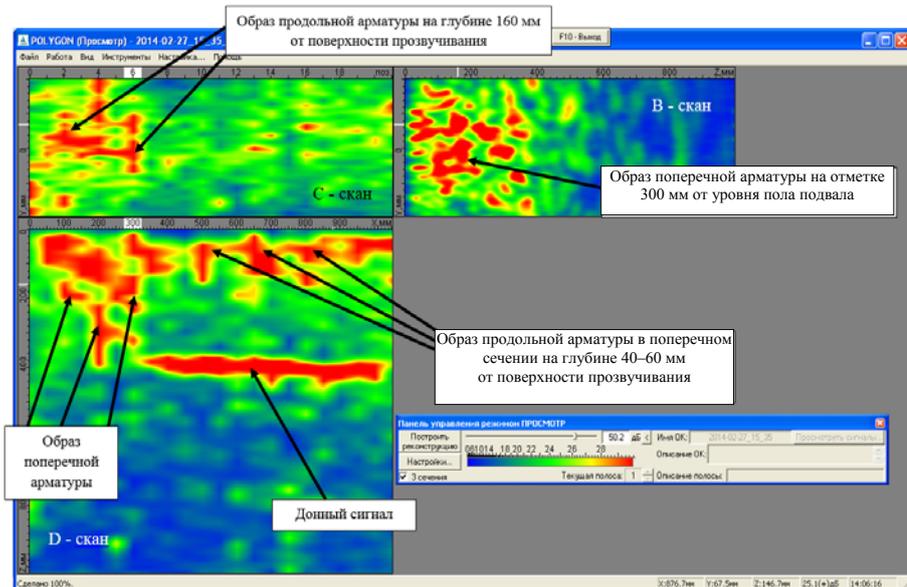


Рис. 3. Фрагмент срезов томограммы C, B и D-скана, позиция 6

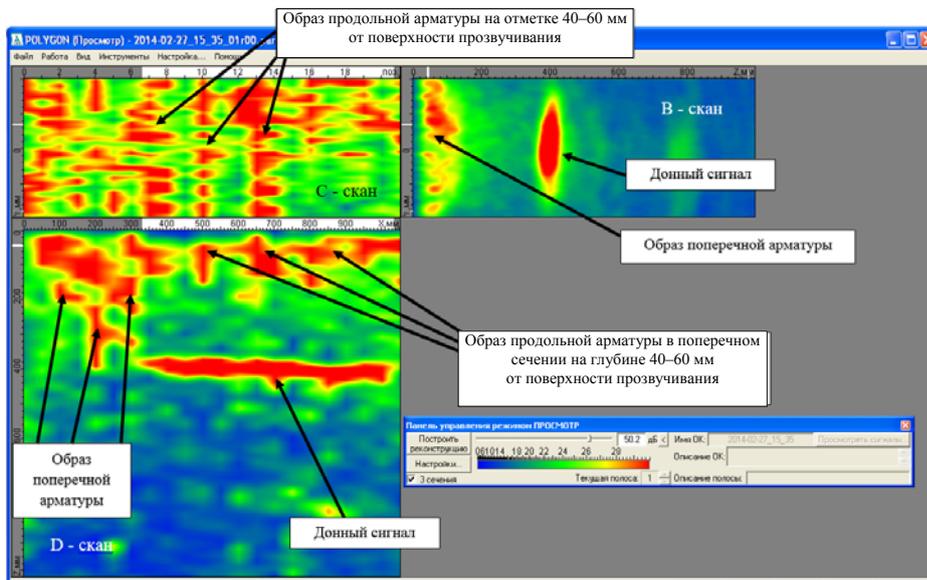


Рис. 4. Фрагмент срезов томограммы C, B и D-скана, позиции 7–22

На томограмме B, D-сканов наблюдается характерное изображение донного сигнала, расстояние до которого определяется по шкалам на томограммах (см. рис. 3–6). По глубине расположения донного сигнала определяется толщина обследуемой конструкции.

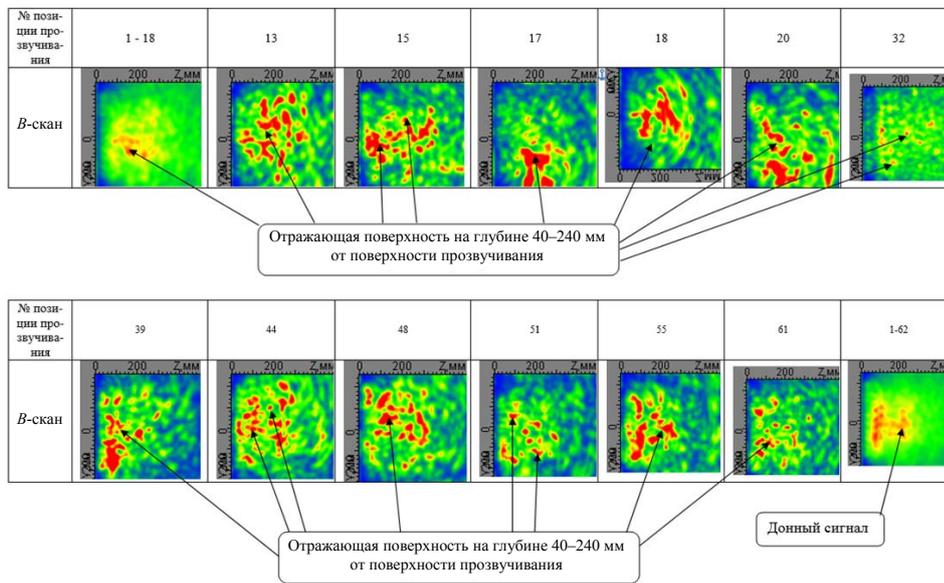


Рис. 5. Томограммы внутренней структуры участка монолитного перекрытия. Полоса сканирования № 3

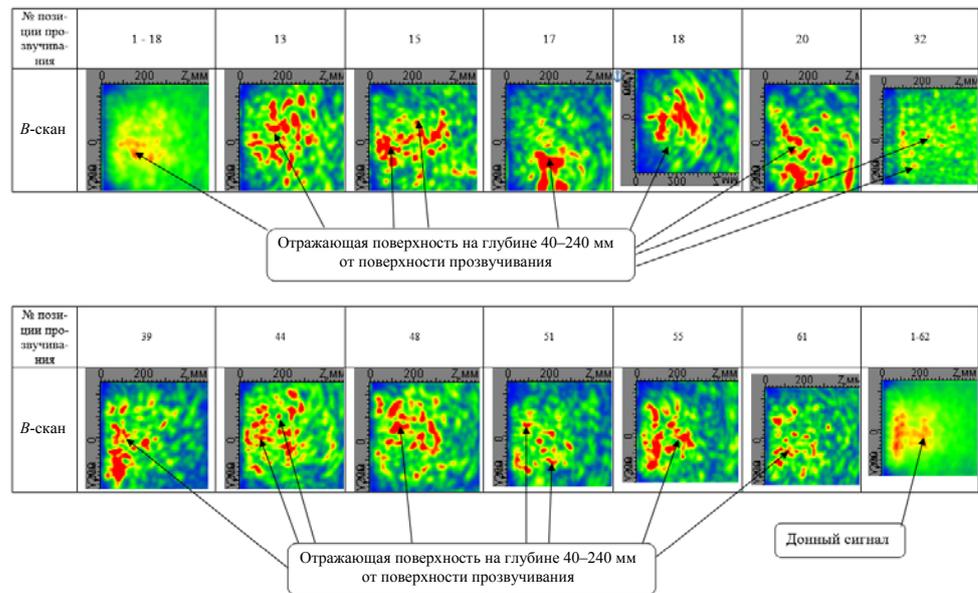


Рис. 6. Томограммы внутренней структуры участка монолитного перекрытия. Полоса сканирования № 3. В-скан, позиции 1–62

### Выводы

1. Для составления объективной картины состояния изучаемого объекта при проведении испытаний на исследуемых участках применялся способ сплошного контроля.
  2. Применение эхо-импульсного метода дает возможность определить толщину обследуемой конструкции при одностороннем доступе к ней.
  3. Применение указанного метода измерения дает возможность обнаружить в толще конструкции среды с отличными от материала конструкции акустическими свойствами, а также определить их местоположение.
  4. Томограф А1040М «Полигон» позволяет визуализировать внутренние структуры практически в режиме реального времени.
  5. Сухой акустический контакт обеспечивает передачу акустической энергии между электроакустическим преобразователем и объектом контроля без дополнительных смачивающих материалов.
  6. Конструкция АУ рассчитана на небольшие (до 1 см высотой) неровности поверхности объекта контроля, которые не препятствуют работе.
- Однако в процессе использования средства АМНК томографа А1040М «Полигон» были выявлены следующие недостатки:
- относительная сложность интерпретации результатов;
  - высокая степень влияния человеческого фактора.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клюев, В.В. Неразрушающий контроль. Справочник. Т. 3 / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин. – М. : Машиностроение, 2008. – 864 с.
2. Описание томографа А1040М Полигон. – Условия доступа :

- <http://www.ndtpribor.ru/product/tomograf-a1040m-poligon> (дата обращения : 02.07.14)
3. *Ультразвуковой томограф А1040М* полигон. – Условие доступа : <http://www.ncontrol.ru/catalog/Ultrazvukovoj-kontrol/Ultrazvukovye-defektoskopy/Ultrazvukovoj-tomograf-A1040M-POLIGON> (дата обращения : 02.07.14)
  4. *Клевцов, В.А.* Применение неразрушающих методов испытаний при обследовании монолитных конструкций / В.А. Клевцов, М.Г. Коревицкая, Ю.К. Матвеев // *Бетон и железобетон* – 1991. – № 7. – С. 192.
  5. *Hoegh, K.* Ultrasonic tomography for evaluation of concrete pavements / K. Hoegh, L. Khazanovich, H.T. Yu // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2011. – V. 2232. – № 1. – P. 85–94.
  6. *Mayer, Klaus.* Characterization of Reflector Types by Phase-Sensitive Ultrasonic Data Processing and Imaging / Klaus Mayer et al // *Journal of Nondestructive Evaluation* (2008). Springer Science. P. 35–45.
  7. *Bishko, A.* Ultrasonic echo-pulse tomography of concrete using shear waves low-frequency phased antenna arrays / A. Bishko, A.A. Samokrutov, V.G. Shevaldykin // 17th World Conference on Nondestructive Testing, 2008, Shanghai, China.
  8. *Samokrutov, A.A.* Ultrasonic testing of concrete objects using dry acoustic contact. Methods, instruments and possibilities / A.A. Samokrutov; V.N. Kozlov, V.G. Shevaldykin // The 5th International Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics in Industry, Moscow, Russia, 2006. 152 p.
  9. *Developments in air-coupled contactless sensing for concrete* / John S. Popovics, A. Gibson, K. Hall, S.W. Shin // NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering Nantes, France, June 30th – July 3rd, 2009.
  10. *Бурмин, А.В.* Влияние влажности бетона на точность определения его прочности / А.В. Бурмин // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2007. – № 4. – С. 135–139.

## REFERENCES

1. *Klyuev V.V., Sosnin F.R.* Nerazrushayushchii kontrol'. Spravochnik. Tom 3 [Nondestructive testing. Handbook. Volume 3]. Moscow : Mashinostroenie-1 Publ., 2008. 864 p. (rus)
2. *Opisanie tomografa A1040M Poligon* [Flaw detector 'Polygon' A104M]. Available at : <http://www.ndtpribor.ru/product/tomograf-a1040m-poligon>. Last visited on February 2014.
3. *Ultrazvukovoi tomograf A1040M Poligon* [Ultrasonic flaw detector 'Polygon' A104M]. Available at : <http://www.ncontrol.ru/catalog/Ultrazvukovoj-kontrol/Ultrazvukovye-defektoskopy/Ultrazvukovoj-tomograf-A1040M-POLIGON>. Last visited on February 2014.
4. *Klevtsov V.A., Korevitskaya M.G., Matveev Yu.K.* Primenenie nerazrushayushchikh metodov ispytaniy pri obsledovanii monolitnykh konstruksii [Non-destructive testing of monolithic structures]. *Beton i zhelezobeton*, 1991. No. 7. P. 192 (rus)
5. *Hoegh K., Khazanovich L., Yu H. T.* Ultrasonic tomography for evaluation of concrete pavements *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 2011. V. 2232. No. 1. Pp. 85–94.
6. *Mayer, Klaus et al.* Characterization of reflector types by phase-sensitive ultrasonic data processing and imaging. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2008. Pp. 35–45.
7. *Bishko A., Samokrutov A. A., Shevaldykin V. G.* Ultrasonic echo-pulse tomography of concrete using shear waves low-frequency phased antenna arrays. *Proc. 17<sup>th</sup> World Conf. 'Nondestructive Testing'*. Shanghai. 2008.
8. *Samokrutov A.A., Kozlov V.N., Shevaldykin V.G.* Ultrasonic testing of concrete objects using dry acoustic contact. Methods, instruments and possibilities. *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. 'Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics in Industry'*. Moscow. 2006. 152 p.
9. *Popovics John S., Gibson A., Hall K., Shin S.W.* Developments in air-coupled contactless sensing for concrete. *Proc. Non-Destructive Testing in Civil Engineering*. Nantes. 2009.
10. *Burmin A.V.* Vliyaniye vlazhnosti betona na tochnost' opredeleniya ego prochnosti [Effect of moisture on concrete strength accuracy measurement]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*, 2007. No. 4. Pp. 135–139. (rus)