

Моделирование волновых процессов в стеновой конструкции с дефектом в виде трещины

А.В. Черпаков^{1,2}, О.В. Шилыева², А.В. Нестеренко², А.В. Пономаренко²,
К.В. Шенцова², В.Е. Гераськина²

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

²Донской государственной технической университет

Аннотация: Рассмотрена задача идентификации дефектов в конструкции в виде стенового элемента. Численное моделирование конструкции проводится в конечно-элементном комплексе *Ansys*. Исследуемая модель стеновой конструкции имеет дефект в виде сквозной трещины, определенной длины. Края трещины не взаимодействуют друг с другом. Рассмотрено возбуждение конструкции при импульсном нагружении. Проанализировано волновое поле смещений в контрольных точках. Выявлены признаки идентификации трещиноподобного дефекта.

Ключевые слова: численное моделирование, стеновой элемент, дефект, трещина, идентификация, конечно-элементное моделирование, динамический анализ, колебания, волновое поле смещений

В современном строительстве применяются различные типы конструкций, состоящие как из отдельных блочных элементов, так и из крупногабаритных отсеков. Одним из типов неотъемлемых строительных элементов являются стеновые конструкции, имеющие разнообразное по форме исполнение и огромный спектр применяемых материалов. К данным конструкциям необходимо применять требования как по качеству исполнения, так и входного контроля свойств материалов. Данный контроль может быть применен как на стадии возведения конструкции, так и в период эксплуатации.

Научный интерес представляет исследование возможностей диагностики и контроля свойств конструкции с помощью неразрушающих методов, основанных на анализе параметров колебаний при определенном вибрационном возбуждении. Решение данной задачи позволит обеспечить их качество и долговечность эксплуатации.

Одним из подходов идентификации свойств является вибродиагностический метод исследований. Описание метода приведено в

работах [1-5]. Подход может быть основан на применении аналитического либо конечно-элементного моделирования [5-8]. При этом могут применены алгоритмы идентификации дефектов [9-12]. Подход может быть осуществлен на основе анализа собственных частот колебаний, анализа модальных параметров колебаний конструкции [12-14]. Расчеты с помощью метода конечных-элементов и применения мощностей комплекса *Ansys* могут быть эффективно использованы для анализа различного типа конструкций, что подтверждается на примере работ [15-20].

Схема модели стеновой конструкции приведена на рис.1. Размеры конструкции и свойства материала представлены в таблице 1 и 2 соответственно. В качестве примера рассматривался аналог натурной конструкции, имеющий некоторые упрощения. Габариты конструкции при моделировании имели размеры 1000 мм X3000 мм. Трещинообразный сквозной дефект, имеющий прямолинейную конфигурацию исполнения в рассматриваемой модели, с не взаимодействующими краями, располагался симметрично относительно центра конструкции. Основные оси координат имеют начало в области центра левой грани (*OXYZ*). Ось *OY* направлена перпендикулярно основной плоскости конструкции.

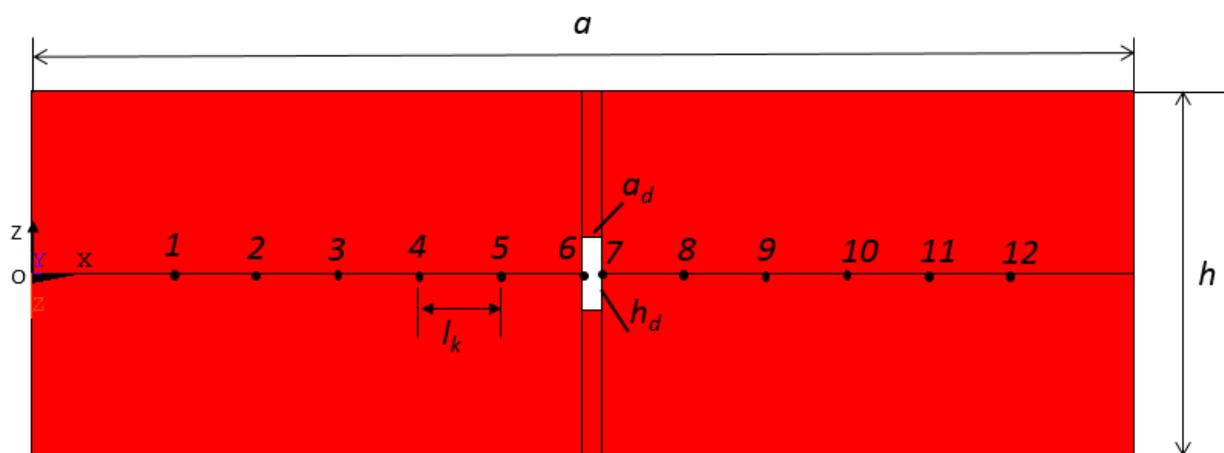


Рис. 1. – Схема стеновой конструкции. Точки 1-12 – места контрольных измерений. В точке 1 прикладывается импульсная нагрузка

Таблица № 1

Параметры конструкции

<i>Размеры стеновой конструкции</i>			<i>Размеры дефекта</i>	
<i>Длина (a), мм</i>	<i>Высота (h), мм</i>	<i>Толщина (th), мм</i>	<i>a_d, мм</i>	<i>h_d, мм</i>
3000	1000	80	1	200

Таблица № 2

Свойства материала конструкции

<i>Материал</i>	<i>Модуль упругости (E), ГПа</i>	<i>Плотность (ρ), кг/м³</i>	<i>Коэффициент Пуансона, ν</i>
Гипс	15	1200	0,33

Задача исследований. На основе численного моделирования в КЭ комплексе *Ansys* волновых процессов при имитационном импульсном возбуждении провести анализ параметров колебаний для выявления идентификационных признаков наличия дефекта в виде сквозной трещины в стеновой конструкции.

Построение модели. При моделировании в КЭ комплексе *Ansys* использовался конечный элемент типа *SHELL281*. При построении модель была разбита на 1216 конечных элементов со средним размером длины грани 50 мм. В некоторых элементах, в окрестности узловых точек конструкции, например, в области формирования дефекта, размер КЭ может быть уменьшен. Число узлов при разбиении составило: 3820.

Моделирование. Моделируются нестационарные колебания в КЭ комплексе *Ansys*. В точке 1 (рис. 1) прикладывается импульсная нагрузка в виде силы (рис. 3). Нагрузка линейно возрастающая. В качестве шага приращения нагрузки выбрана сила $F_a=1 \text{ Н}$. Приращение усилия осуществляется в течении 10 шагов нагружения с дискретизацией интервала

по времени $dt_i = 1e^{-6}$ с. На последующих 10 шагах усилие вычитается на каждом этапе решения.

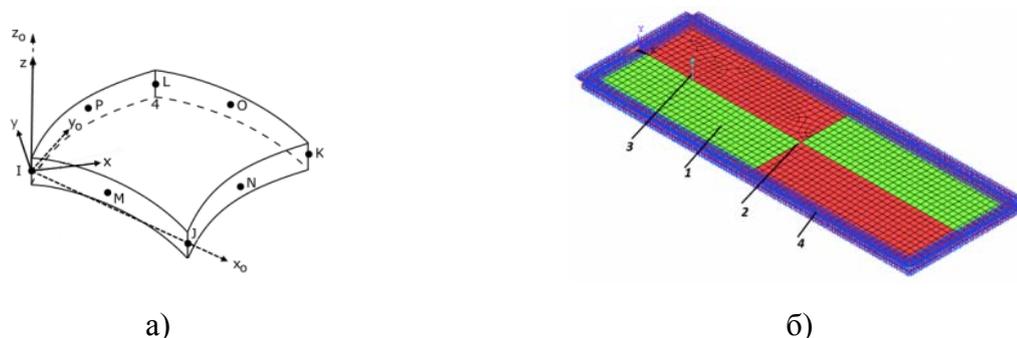


Рис. 2. – (а) Конечный элемент типа SHELL281. (б) Конечнo элементная модель стеновой конструкции. 1 – плоскость стеновой конструкции, 2 – место расположения трещины, 3 – место приложения ударной нагрузки, 4 – граничные условия

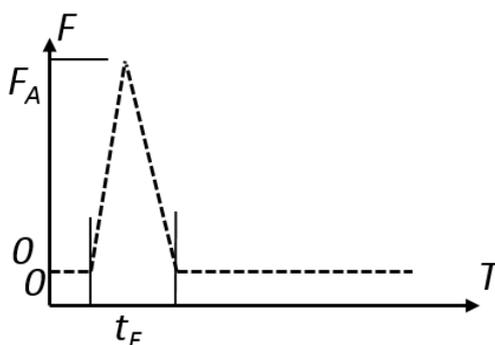


Рис. 3. – Диаграмма импульсной нагрузки в виде силы F_a , приложенной в точке 1

Вследствие импульсного нагружения возникает волна смещений точек поверхности конструкции. В процессе решения задачи анализируются поперечные смещения в контрольных точках 1-12 конструкции на определенном временном интервале. На рис. 4 приведены поперечные смещения в различных точках точек поверхности. Анализируется интервал времени $5e10^{-3}$ с.

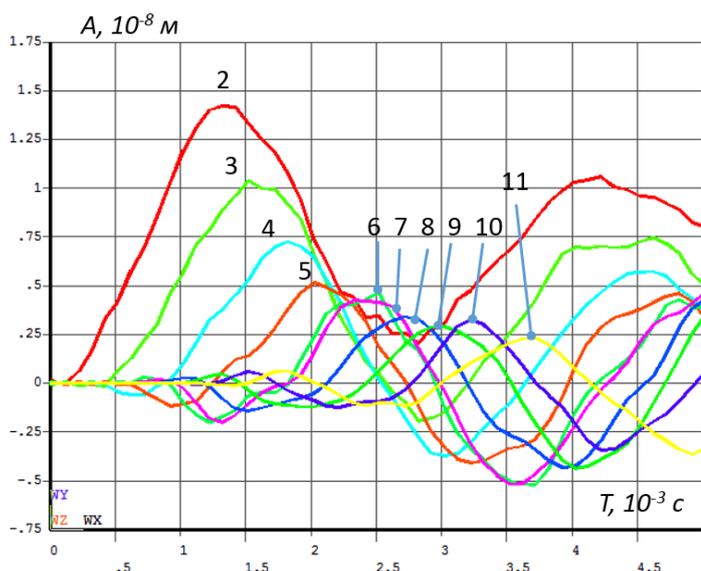


Рис 4. – Амплитуды колебаний в различных точках поверхности

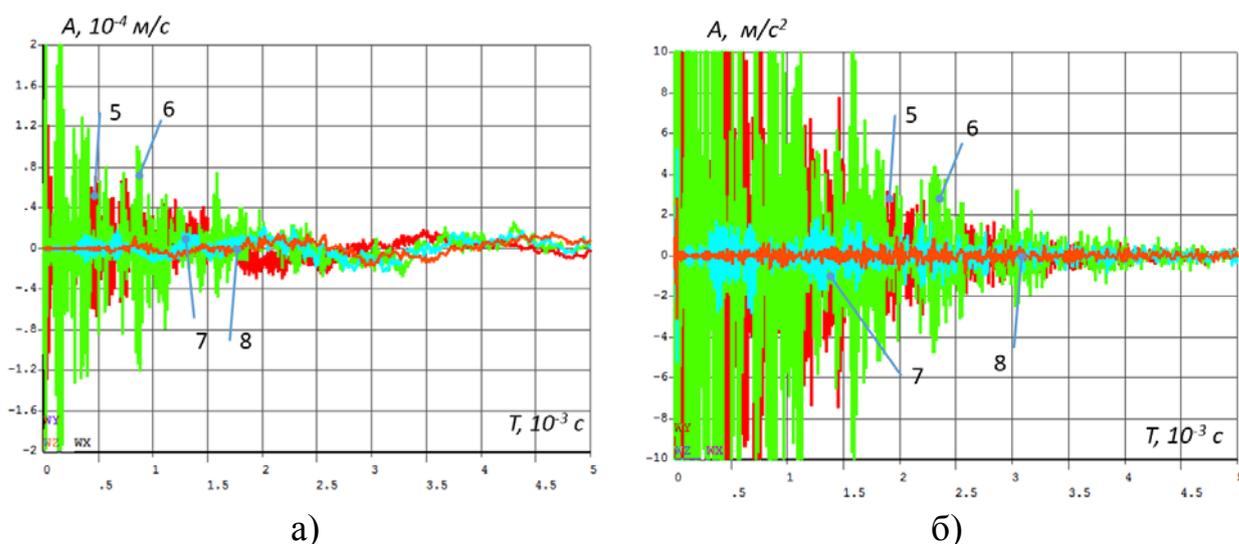


Рис 5. – Амплитуды скоростей (а), ускорений (б) колебаний, замеренных в точках 5,6,7,8

Анализ. Анализ колебаний в точках 2-11, показывает, что волна колебаний при прохождении через область дефекта изменяет амплитуду. Так в точках 2-6, расположенных до дефекта, при подходе волны к области дефекта - амплитуд колебаний линейно уменьшается. Изменения пиковых значений амплитуды колебаний в точках наблюдения 7-11, расположенных после дефекта, незначительно. Этот эффект достаточно хорошо наблюдается

на рис.4. Данный признак может служить идентификатором наличия дефекта в виде трещины в стеновой конструкции. При анализе скоростей и ускорений колебаний проведено сравнение в точках 5, 6, расположенных до дефекта и в точках 7 и 8 после дефекта. Анализ показывает, что амплитуды скоростей волны после дефекта резко снижаются. Пиковые значения как скорости, так и ускорения снижаются более чем в 10 раз.

Заключение. Рассмотрена задача о нестационарном возбуждении колебаний в стеновой конструкции. Приведены результаты поперечных смещений в контрольных точках конструкции при распространении волны от импульсного возбуждения в определенной точке. При моделировании в качестве анализируемого рассмотрен промежуток времени, в котором не учитываются эффекты обратного прохождения волны. Использование КЭ типа *SHELL281* в комплексе *Ansys* позволило, ускорить процесс решения задачи. Но данная задача требует сравнения с моделью, использующую 3D полнотелые элементы. Признаки, основанные на резком изменении амплитуды, скорости и ускорения проходящей волны, могут быть применены после детального анализа в качестве идентификационных признаков, выявляющих дефекты в данном типе конструкций.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России № БЧ0110-11/2017-20, а также при поддержке РФФИ (проект 16-08-00740 А).

Литература

1. Акопьян В.А., Бычков А.А., Рожков Е.В., Соловьев А.Н., Шевцов С.Н. К определению эффективных свойств полимеркомпозитного материала на основе гармонического и модального анализа// Механика композиционных материалов и конструкций. 2008. Т. 14. N.1. С. 35-48.

2. Cherpakov A.V., Shlyakhova E.A., Egorochkina I.O. and Kokareva Y.A. Identification of Concrete Properties in Beam-Type Structures with Defects Based

on Dynamic Methods// Materials Science Forum (Volume 931) (2018) pp. 373-378
URL: doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.373

3. Shevtsov Sergey, Soloviev Arkady N., Parinov Ivan A., Cherpakov Alexander V., Chebanenko Valery A. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting – Research and Development. Series: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. Springer Cham, Switzerland. 2018. 184 p. ISBN 978-3-319-75629-5

4. АКОПЬЯН В.А., РОЖКОВ Е.В., СОЛОВЬЕВ А.Н., ШЕВЦОВ С.Н., ЧЕРПАКОВ А.В. Идентификация повреждений в упругих структурах: подходы, методы, анализ. Монография / Ростов-на-Дону, 2015. 74 с.

5. Soloviev A.N., Parinov I.A., Cherpakov A.V., Chaika Yu.A., Rozhkov E.V. Materials Physics and Mechanics. 2018. Т. 37. № 2. pp. 192-197.

6. Cherpakov, A.V., Soloviev, A.N., Gricenko, V.V., Goncharov, O.U. // Defence Science Journal 2016, №1. pp. 44-50

7. Soloviev A.N., Cherpakov A.V., Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Parinov I.A. Chapter 61. The analytical modeling influence of defects in the base of transmission tower on the parameters of its own transverse vibrations. In: Proceedings of the 2016 International Conference on Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. Nova Science Publishers, New York. 2017. pp. 439-446.

8. Cherpakov A., Egorochkina I., Shlyakhova E., Kharitonov A., Zarovy A. and Dobrohodskaya S. Using technique vibration diagnostics for assessing the quality of power transmission line supports repairs, MATEC Web of Conferences, Vol. 106, 04009 (2017) URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710604009

9. Черпаков А.В., Акопьян В.А., Соловьев А.Н. Алгоритм многопараметрической идентификации дефектов стержневых конструкций // Техническая акустика. 2013. Т. 13. С.1.



10. Krasnoshchekov, A.A., Sobol, B.V., Solov'ev, A.N., Cherpakov, A.V. Identification of crack-like defects in elastic structural elements on the basis of evolution algorithms // Russian Journal of Nondestructive Testing, 2011, Vol. 47, No. 6, pp. 412–419.

11. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Заровный А.Г., Кучеренко Д.Ю., Лежнев В.Н. Критерий оценки качества ремонтных работ стоек опор ЛЭП// Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063.

12. Акopyан, V.A., Solov'ev, A.N., Cherpakov, A.V., Shevtsov, S.N. On a deformation sign for identifying defects on the basis of the analysis of the forms of the natural vibrations of a cantilever with a notch // Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Vol. 49, No. 10, pp. 579–583.

13. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Соловьев А.Н. Анализ влияния дефектов в основании опоры ЛЭП на параметры собственных поперечных колебаний на основе аналитической модели //Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432.

14. Soloviev A.N., Cherpakov A.V., Parinov I.A. Based on analytical modeling identifying the location of multiple cracks in the rod construction /in: Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications Proceedings of the 2015 International Conference on Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. 2015. pp. 515-520.

15. A.V.Cherpakov, M.I. Chebakov, G. Zecheru, A. Dumitrescu. Chapter 31. Modeling of Corrosion in Filler Defect in the Repair of Pipes Overlay Composite Bandage. In: Advanced Materials – Techniques, Physics, Mechanics and Applications, Springer Proceedings in Physics Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Cham. 2017. pp. 373-380. URL: springer.com/gp/book/9783319560618.

16. Вербицкий В.А., Шиляева О.В. Моделирование системы «железобетонная свая – грунт» для исследования конструкции при ударном воздействии // Точная наука. 2017. № 9. С. 24-27.

17. Шиляева О.В., Мурадян В.А., Блягоз А.М., Сморгунова М.В. К расчету армированных железобетонных колонн методом конечного элемента // Новые технологии. 2013. № 3. С. 148-154.

18. Шиляева О.В., Хунагов Р.А., Блягоз А.М. Моделирование устойчивости железобетонной панели // Новые технологии. 2012. № 3. С. 149-153.

19. Ляпин А.А., Селезнёв Н.М., Шиляева О.В. Динамическая контактная задача для полуплоскости, жестко сцепленной с пакетом из двух полуслоев // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2008. № 2. С. 45-50.

20. Селезнев Н.М., Шиляева О.В., Ву Тхи Бик Куен. Численное моделирование резонансных режимов сложных полугораниченных структур// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2009. № 3 (151). С. 10-13.

References

1. Akopyan V.A., Bychkov A.A., Rozhkov E.V., Soloviev A.N., Shevtsov S.N. Mekhanika kompozicionnyh materialov i konstrukcij. 2008. T. 14. N.1. pp. 35-48.

2. Cherpakov A.V., Shlyakhova E.A., Egorochkina I.O. and Kokareva Y.A. Materials Science Forum (Volume 931) (2018) pp. 373-378. URL: doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.373

3. Shevtsov Sergey, Soloviev Arkady N., Parinov Ivan A., Cherpakov Alexander V., Chebanenko Valery A. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting – Research and Development. Series: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. Springer Cham, Switzerland. 2018. 184 p. ISBN 978-3-319-75629-5.

4. Akopyan V.A., Rozhkov E.V., Soloviev A.N., Shevtsov S.N., Cherpakov A.V. Identifikaciya povrezhdenij v uprugih strukturah: podhody, metody, analiz [Damage identification in elastic structures: approaches, methods, analysis] Monografia. Rostov-on-Don. 2015. 74 p. ISBN: 978-5-9275-1517-2.

5. Soloviev A.N., Parinov I.A., Cherpakov A.V., Chaika Yu.A., Rozhkov E.V. Materials Physics and Mechanics. 2018. V. 37. № 2. pp. 192-197.

6. Cherpakov, A.V., Soloviev, A.N., Gricenko, V.V., Goncharov, O.U. Defence Science Journal 2016, №1. pp. 44-50.

7. Soloviev A.N., Cherpakov A.V., Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Parinov I.A. In: Proceedings of the 2016 International Conference on Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. Nova Science Publishers, New York. 2017. pp. 439-446.

8. Cherpakov A., Egorochkina I., Shlyakhova E., Kharitonov A., Zarovy A. and Dobrohodskaya S. Using technique vibration diagnostics for assessing the quality of power transmission line supports repairs, MATEC Web of Conferences, Vol. 106, 04009 (2017) URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710604009.

9. Cherpakov A.V., Akopyan V.A., Soloviev A.N. Tekhnicheskaya akustika. 2013. V. 13. pp. 1.

10. Krasnoshchekov, A.A., Sobol, B.V., Solov'ev, A.N., Cherpakov, A.V. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2011, Vol. 47, No. 6, pp. 412-419.

11. Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Cherpakov A.V., Zarovny A.G., Kucherenko D.Yu., Lezhnev V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063.

12. Akopyan, V.A., Solov'ev, A.N., Cherpakov, A.V., Shevtsov, S.N. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Vol. 49, No. 10, pp. 579-583.

13. Egorochkina I.O., Shlyakhova Ye.A., Cherpakov A.V., Soloviev A.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. URL: URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432.



14. Soloviev A.N., Cherpakov A.V., Parinov I.A. in: Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. Proceedings of the 2015 International Conference on Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. 2015. pp. 515-520.

15. A.V.Cherpakov, M.I. Chebakov, G. Zecheru, A. Dumitrescu. In: Advanced Materials – Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Cham. 2017. pp. 373-380. URL: springer.com/gp/book/9783319560618

16. Verbickij V.A., SHilyaeva O.V. Tochnaya nauka, 2017. №9. pp. 24-27.

17. Shilyaeva O.V., Muradyan V.A., Blyagoz A.M., Smorgunova M.V. Novye tekhnologii, 2013. № 3. pp. 148-154.

18. SHilyaeva O.V., Hunagov R.A., Blyagoz A.M. Novye tekhnologii, 2012. №3. pp. 149-153.

19. Lyapin A.A., Seleznyov N.M., Shilyaeva O.V. Ehkologicheskij vestnik nauchnyh centrov CHernomorskogo ehkonomicheskogo sotrudnichestva, 2008. № 2. pp. 45-50.

20. Seleznev N.M., Shilyaeva O.V., Vu Thi Bik Kuen. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2009. № 3 (151). pp. 10-13.