

## Исследование колебаний модели стеновой конструкции при импульсном возбуждении

*О.В. Шляева<sup>1</sup>, Е.Е. Позднышева<sup>1</sup>, А.С. Касьяненко<sup>1</sup>,  
Е.И. Мирошниченко<sup>1</sup>, Е.В. Кустов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

<sup>2</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**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 рамках исследований применяется вибродиагностический метод, основанный на алгоритмизации процесса регистрации, обработки данных о колебаниях и выявления признаков и функциональных зависимостей параметров дефектов и материала от колебаний. Описание метода приведено в работах [1-4]. Подход может быть основан на применении аналитического либо конечно-элементного моделирования [4-7]. При этом могут применены алгоритмы идентификации дефектов [8]. Подход может быть осуществлен на основе анализа собственных частот колебаний, анализа модальных параметров колебаний конструкции. 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 [10-15].

В статье [15] приведена модель стеновой конструкции с дефектом. Схема модели стеновой конструкции приведена на рис.1. Размеры конструкции и свойства материала представлены [15].

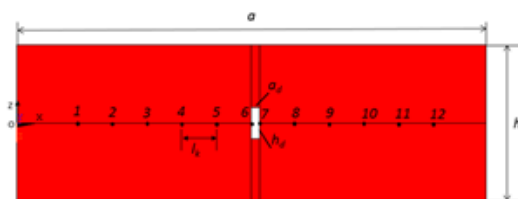


Рис. 1. – Схема стеновой конструкции. Точки 1-12 – места контрольных измерений. В точке 1 прикладывается импульсная нагрузка

**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.

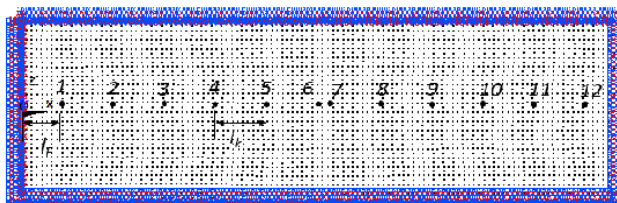


Рис. 2. – Разбиение на узлы стеновой конструкции. Т.1 – место приложения ударной нагрузки, Т.6-7 – края трещины

**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  $F_a=1 Н$ . 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.

При импульсном возбуждении колебаний возникает волна смещений точек поверхности конструкции. В процессе решения задачи анализируются поперечные смещения в контрольных точках 1-12 конструкции на определенном временном интервале.

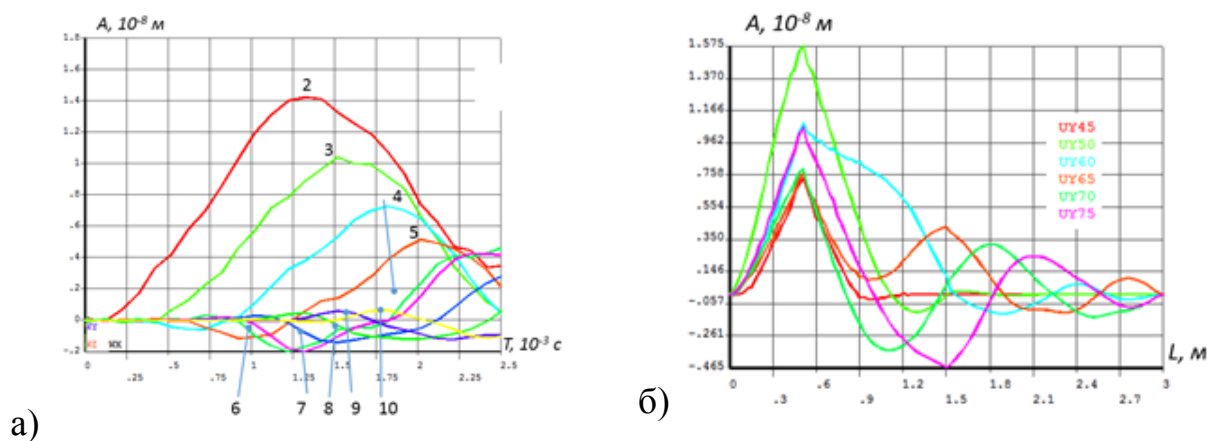


Рис 4. – Амплитуды колебаний в контрольных точках 3-10 (а), и волновое поле поперечных смещений точек, лежащих на оси ОХ, в различные интервалы времени по оси ОХ

Таблица № 1

Расчетное время для итераций

N	Время, с
UY45	$0.42100e^{-03}$
UY50	$0.92100e^{-03}$
UY60	$0.19210e^{-02}$
UY65	$0.24210e^{-02}$
UY70	$0.29210e^{-02}$
UY75	$0.34210e^{-02}$

**Анализ.** Анализ колебаний в точках 3-10, показывает, что волна колебаний при прохождении через область дефекта изменяет амплитуду. Так в точках 3-6, расположенных до дефекта, амплитуда колебаний линейно уменьшается. Изменения амплитуды максимальных колебаний в точках наблюдения 7-10, расположенных после дефекта, изменяются незначительно. Этот эффект достаточно хорошо наблюдается на рис.4. Данный признак может служить идентификатором наличия дефекта в виде трещины в

стенной конструкции. Были проанализированы формы колебаний плоскости стены в 100 узловых точках по линии в направлении оси  $OX$ . Результаты представлены на рис. 4(б). Первичный анализ форм колебаний поверхности показывает, что при прохождении волны колебаний в окрестности зоны дефекта ( $L=1.5$  м) и достижения ее пиковых (максимальных) – амплитуд колебаний видны резкие перегибы формы колебаний. На рис. 5 приведены результаты волновых полей (форм) колебаний для 6-ти расчетных итераций в определенные моменты времени, вычисленных вдоль линии по оси  $OY$ . Местоположение зоны дефекта –  $L=1.5$  м.

### Литература

1. 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](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.373)
2. Sergey Shevtsov, Arkady N.Soloviev, Ivan A. Parinov, Alexander V. Cherpakov, Valery A. Chebanenko. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting – Research and Development. Series: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. Springer Cham, Switzerland. 2018. P.184. ISBN 978-3-319-75629-5
3. 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.
4. 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.
5. Cherpakov, A.V., Soloviev, A.N., Gricenko, V.V., Goncharov, O.U. // Defence Science Journal 2016, №1. pp. 44-50
6. 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.

7. 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](https://doi.org/10.1051/matecconf/201710604009)

8. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063).

9. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432).

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

11. 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.

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

13. 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.

14. 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.

15. Черпаков А.В., Шиляева О.В., Нестеренко А.В., Пономаренко А.В., Шенцова К.В., Гераськина В.Е. Моделирование волновых процессов в стеновой конструкции с дефектом в виде трещины // Инженерный вестник Дона, 2018, №4.

### References

1. 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](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.373)

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

3. 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.

4. 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.

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

6. 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.

7. 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.

8. Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Cherpakov A.V., Zarovny A.G., Kucherenko D.Yu., Lezhnev V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4063.

9. Egorochkina I.O., Shlyakhova Ye.A., Cherpakov A.V., Soloviev A.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3432.

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

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

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

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

14. 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.

15. Cherpakov A.V., Shilyaeva O.V., Nesterenkjo A.V. and other. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2018. № 4.