

# Исследование колебаний полнотелой стержневой модели кантилевера с дефектом

**Е.Е. Косенко, В.В. Косенко, А.В. Черпаков**

Идентификация повреждений является важнейшим аспектом в рамках эксплуатационной безопасности и функциональности упругих конструкций. Решению проблемы идентификации повреждений в стержнях [1], балках и более сложных конструкциях посвящено большое количество работ [2, 3, 4, 5]. Обзор работ этой тематики приведен в [6, 7, 8, 9].

Как известно [7], в конструкции, имеющей дефекты, происходит изменение параметров колебаний при действии нагрузки. В качестве объекта исследований выступают параметры колебаний стержневой конструкции, полученные в результате воздействия нагрузки. Предполагается, что механическая модель конструкции является упругим телом, при этом затухание колебаний, после приложения нагрузки, не учитывается. Исследуются вынужденные колебания конструкции на основе модального анализа с определением собственных частот и формы колебаний

Задачей исследования является: выявление критериев идентификации параметров дефекта, на основе анализа различных мод собственных колебаний, с применением конечно-элементного модального расчета консольной полнотелой модели стержня имеющего однократный дефект [10]. Рассматриваемый дефект расположен в различных местах.

## **Параметры модели.**

Поперечное сечение: прямоугольник; габариты балочной модели: длина  $\times$  высота  $\times$  ширина ( $L \times h \times a$ ) = 0.25 м  $\times$  0.008 м  $\times$  0.004 м.

Модель обладает механическими свойствами, эквивалентными натурной модели: модуль Юнга  $E = 2.1$  МПа; плотность  $\rho = 7700$  кг/м<sup>3</sup>; механические свойства аналогичны стали Ст 10.

Дефект в виде надреза располагался в месте  $\bar{L}_c$ , где  $\bar{L}_c = L_c / L$ .

Вертикальная ось надреза перпендикулярна основной оси стержня. Ширина дефекта принималась равной  $d=0.001$  м. В настоящей работе рассматривается относительная величина дефекта:  $\bar{t} = t/h$ . Величина дефекта принимала значение  $\bar{t} \in 0.9$ .

Конечно-элементное (КЭ) моделирование производилось в универсальном комплексе *ANSYS*. Рассмотрена полнотелая (3-х мерная) модель на основе применения 3D конечного элемента *Solid92*.

Условное разбиение на конечные элементы модели показано на рис. 1. Фрагмент зоны разбиения конечно-элементного образца с дефектом в виде надреза показан на рис. 2.

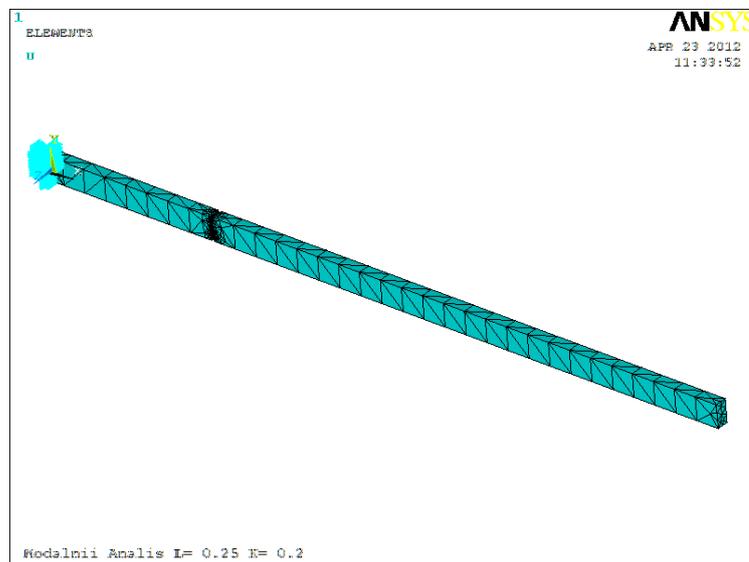


Рис. 1. Разбиение стержневой модели на конечные элементы в КЭ комплексе *ANSYS*

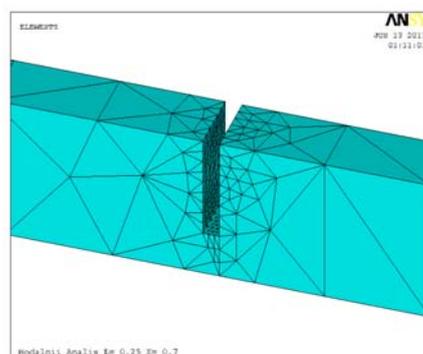


Рис. 2. Фрагмент конечно-элементной сетки в окрестности дефектной зоны

В результате проведения модального КЭ расчета колебаний стержня с дефектом в виде надреза, был получен набор собственных частот и соответствующих им форм колебаний. Для получения амплитудно-частотных характеристик в отдельных точках колебаний стержня с дефектом проводился спектральный КЭ расчет.

С помощью конечно-элементного комплекса *ANSYS* рассмотрена полнотелая модель стержня без дефекта.

Были получены соответствующие собственные формы колебаний для первых 26 мод. После проведения моделирования, при поиске критерия наличия дефекта, решено отдельно рассматривать формы колебаний в различных плоскостях и осях модели.

Графическая интерпретация относительного изменения частоты в зависимости от местоположения дефекта для различных поперечных мод колебаний в плоскости *OXY* (вертикальной), *OZX* (горизонтальной), представлена на рис. 3, 4.

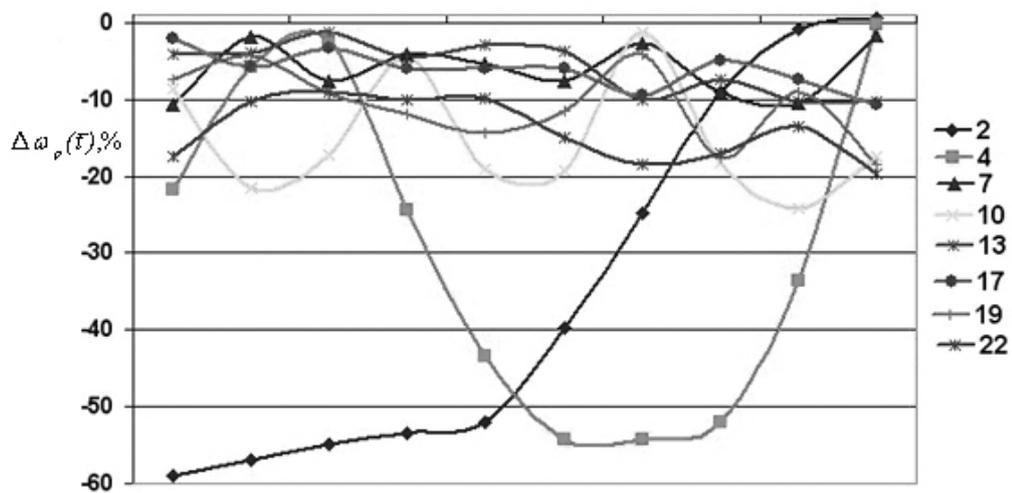


Рис. 3. Графики относительного изменения частот  $\Delta \omega_p(\bar{t})$  для мод колебаний в плоскости *OXY* при различном расположении  $\bar{L}_c$  дефекта и его относительной величине  $\bar{t}=0.9$

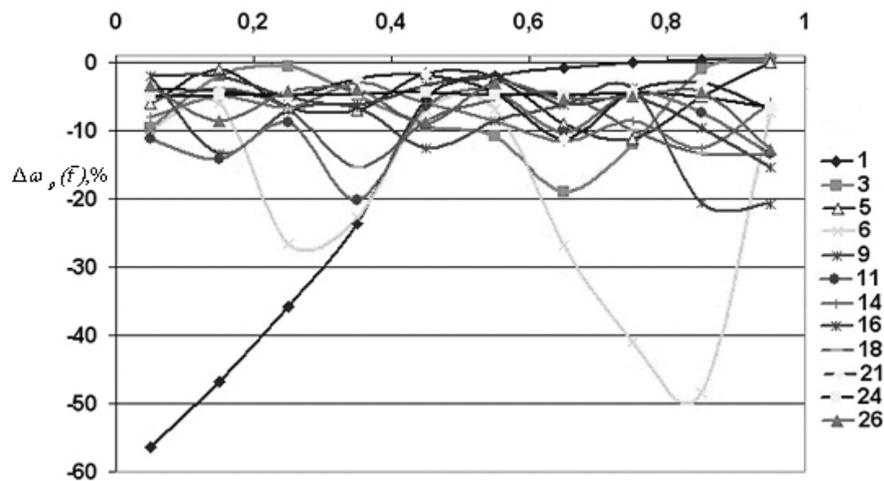


Рис. 4. Графики относительного изменения частот  $\Delta\omega_p(\bar{\xi})$  для мод колебаний в плоскости  $OZX$  при различном расположении  $\bar{L}_c$  дефекта и его относительной величине  $\bar{\xi}=0.9$

Для анализа чувствительности изменения первых 26 собственных мод колебаний к однократному дефекту, рассмотрим динамику изменения собственных частот для величины дефекта  $\bar{\xi} = 0.9$ , при различном местоположений дефекта  $\bar{L}_c = \{0.05; 0.15; 0.25; 0.35; 0.45; 0.55; 0.65; 0.75; 0.85; 0.95\}$ . Относительные изменения частот  $\Delta\omega_p(\bar{\xi})$ , вычислялись по формуле (1):

$$\Delta\omega_p(\bar{\xi}) = \frac{\omega_p^i - \omega_p^o}{\omega_p^o} 100\%, \quad (1)$$

где  $\omega_p^o$ ,  $\omega_p^i$  - соответственно, значения частот резонансов для не поврежденной и дефектной моделей.

Анализ проведенных расчетов относительного изменения частот, позволяет сделать вывод о том, что для большинства мод колебаний относительное изменение частот не превышает 10%. Моды, для рассматриваемых форм колебаний имеют большую чувствительность к изменению частот при различном расположении дефекта.

В задаче рассмотрены 26 мод колебаний в зависимости от величины дефекта и местоположения. В результате решения задачи установлено, что

моды для форм колебаний в плоскости  $OXY$  – 2, 4, 10, 19, 22, для форм колебаний в плоскости  $OZX$  – 1, 6, 25, для крутильных форм колебаний – 8, 15 и для продольных форм колебаний – 12, имеют изменение частот в пределах от 10% до 60%, при различном расположении дефекта. При этом для 16-и мод колебаний относительное изменение частот не превышает 10%.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14–08–00683-а).

### Литература:

1. Косенко, Е.Е., Бурцева, О.А., Нефедов, В.В., Косенко, В.В., Черпаков, А.В. Моделирование напряженного состояния арматурных стержней, применяемых при производстве преднапряженных железобетонных конструкций [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Friswell, M.I. Damage identification using inverse methods/ M.I. Friswell, Phil. Trans. R. Soc. A .2007. 365, -PP.393–410.
3. Акопьян, В.А. Некоторые подходы к оценке остаточного ресурса строительных ферменных конструкций / В. А. Акопьян, А. Н. Кабельков , А. В. Черпаков // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 2009. -№ 5. - С. 89-95.
4. Аналитический и конечно-элементный анализ параметров колебаний в стержне с повреждением / В. А. Акопьян, А. В. Черпаков, А. Н. Соловьев и др. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. - №5. - С. 21-28.
5. Идентификация параметров поврежденности в упругом стержне с использованием конечно-элементного и экспериментального анализа мод изгибных колебаний / А. В. Черпаков, В. А. Акопьян, А. Н. Соловьев и др.

- // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. - Т.11, №3(54). - С. 312-318.
6. Akopyan, V. Parameter Estimation of Pre-Destruction State of the Steel Frame Construction Using Vibrodiagnostic Methods / V.Akopyan, A.Soloviev, A. Cherpakov. Mechanical Vibrations: Types, Testing and Analysis. Inc. Edit. A.L.Galloway . Nova Science Publishers, N-Y.. Chapter 4. -2010, -PP.147-161.
  7. A review of structural health monitoring literature: 1996-2001 / C. R.Farrar, F. M. Hemez, D. D.Shunk, D. W.Stinernes, B. R.Nadler , J. J.Czarnecki. Los Alamos National Laboratory Report, LA-13976-MS. -2004.
  8. Косенко, Е.Е., Мещеряков, В.М., Косенко, В.В., Черпаков, А.В. Моделирование напряженного состояния арматуры железобетонных конструкций, с учетом влияния концентраторов напряжения в виде периодического профиля [Электронный ресурс] // «Науковедение», 2012, № 3.
  9. Косенко, Е.Е., Косенко, В.В. Черпаков, А.В. К вопросу о влиянии геометрических размеров на прочностные характеристики арматурных стале [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2010, №4. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
  - 10.Акопьян В.А., Соловьев А.Н., Черпаков А.В., Шевцов С.Н. О деформационном признаке идентификации повреждений, основанном на анализе форм собственных колебаний кантилевера с надрезом // Дефектоскопия. -2013.-№10. - С. 36-39.