

ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДЕНИЙ

**Воробьев Ю.С., д.т.н., проф, Чернобрышко М.В., к.т.н.,
Чугай М.А., к.т.н.**

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Рассмотрены колебания элементов машин с учетом повреждений. Моделирование объектов проводилось на основании трехмерного подхода метода конечных элементов с использованием сингулярных элементов. Проведен численный анализ деформационных процессов элементов конструкций при локальных ударных нагрузках.

Постановка задачи. Нестационарные нагрузки и вызванные ими динамические напряжения являются наиболее опасными и приводят к повреждениям элементов оборудования сельскохозяйственной техники. Колебания с повреждениями и распределение напряжений в них мало исследованы, поэтому данная проблема является актуальной. Для элементов сложной геометрической формы, наиболее полной моделью является трехмерная модель, в которой также могут быть учтены неоднородность свойств материала, наличие повреждений и другие факторы. Трехмерный подход в сочетании с методом конечных элементов и конечных разностей позволяет получить полную картину распределения напряжений и выявить зоны локализации опасных напряжений.

Влияние повреждений на колебания элементов конструкций. Для получения адекватной картины распределения вибрационных полей напряжений в элементах конструкций необходимы анализ влияния повреждений на динамическое напряженно-деформированное состояние системы и разработка приемов их учета.

Для обеспечения особенностей распределения перемещений типа $O(r^{1/2})$ в вершине трещины необходимо сдвинуть промежуточные узлы изопараметрического 15-узлового элемента на четверть длины стороны по направлению к вершине трещины (рис. 1). Полученные таким образом элементы могут обладать особенностью вида $O(r^{-1/2})$ для напряжений σ_{ij} , они достаточно хорошо описывают изменения напряжений и перемещений в вершине трещины, полностью совместимы с обычными квадратичными элементами и отображают деформацию тела как целого [1].

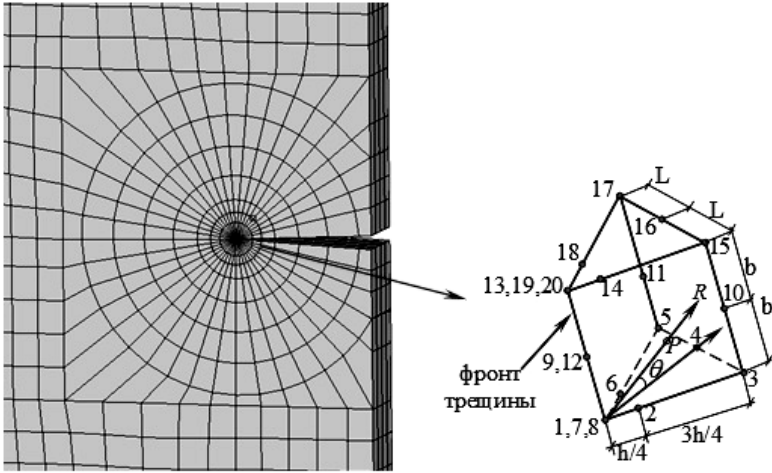


Рис. 1. Специальный конечный элемент

На рис.2 приведена закономерность влияния повреждений на собственные частоты колебаний в зависимости от рассматриваемого реального объекта k , а $\Delta\omega$ - относительное изменение собственных частот колебаний при расчете указанных объектов.

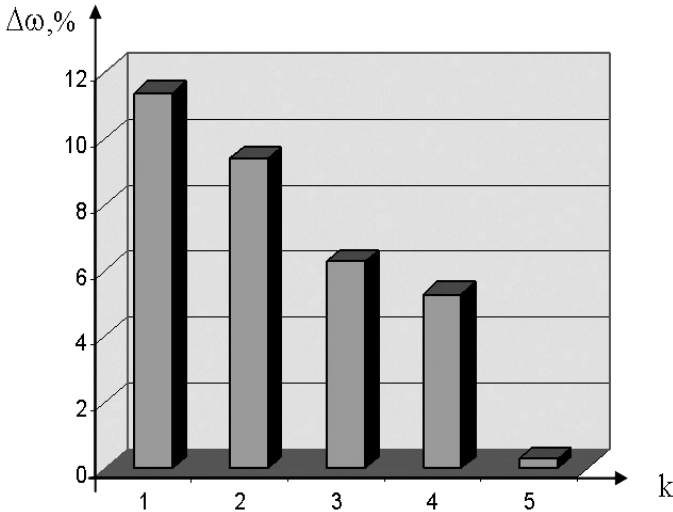


Рис. 2. Закономерность влияния повреждений на собственные частоты колебаний

Результаты данной работы могут использоваться для диагностики. Например, сравнивая формы колебаний эталонного образца без повреждений и экспериментального, можно судить о наличии или отсутствии дефектов в нем.

Анализ локализации напряжений с учетом повреждений и без них позволяет выработать рекомендации по снижению уровня вибрационных напряжений в местах, представляющих опасность в случае возможных повреждений, за счет перераспределения интенсивностей напряжений. Знание картины распределения вибрационных напряжений и их локализации может оказаться полезным при выборе вариантов как отдельных элементов конструкций так и их систем.

Деформирование элементов конструкций при локальном ударе.

Много элементов современных конструкций подвержены влиянию интенсивных динамических нагрузок [3, 4]. Сложность объектов, неоднородность материалов, наличие температурных полей, конструктивные и эксплуатационные особенности приводят к необходимости использования трехмерных моделей и численных приемов исследования динамического напряженно-деформированного состояния элементов конструкций. Развита метод конечных разностей с адаптацией пространственно-временной сетки в зависимости от градиентов перемещений, деформаций и напряжений в упругой или пластической стадии деформирования [5].

Проведен анализ динамического деформирования в элементах конструкций в виде пластин при локальном ударном нагружении. Численные исследования проводились для материала со следующие параметры: модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^{11}$ Па; модуль упрочнения за пределами упругости $E_1 = 7,39 \cdot 10^8$ Па; статическая граница упругости деформаций $\varepsilon_s = 1,43 \cdot 10^{-3}$; статическая граница упругости напряжений $\sigma_s = 2,99 \cdot 10^8$ Па; граница разрушения $\sigma_{\text{п}} = 5,89 \cdot 10^8$ Па; плотность материала $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/г³; параметры динамического упрочнения материала $D = 3,96 \cdot 10^2$ с⁻¹; $n = 7,14$. Исследована зона нагрузки пластины размером 0,03 м × 0,07 м и толщиной 0,003 м. Размеры ударника принимались 0,004 м × 0,008 м. Результаты расчетов интенсивности деформаций в локальной зоне нагрузки представлены на рис.3.

Численные исследования показывают, что процесс происходит в локальной зоне. Параметры напряженно-деформированного состояния в зоне нагрузки значительно больше чем вне её. Анализ результатов дает возможность сделать вывод, что в зоне локального удара нагрузка не является разрушительной и целостность конструкции сохраняется, хотя в месте удара присутствуют пластические деформации.

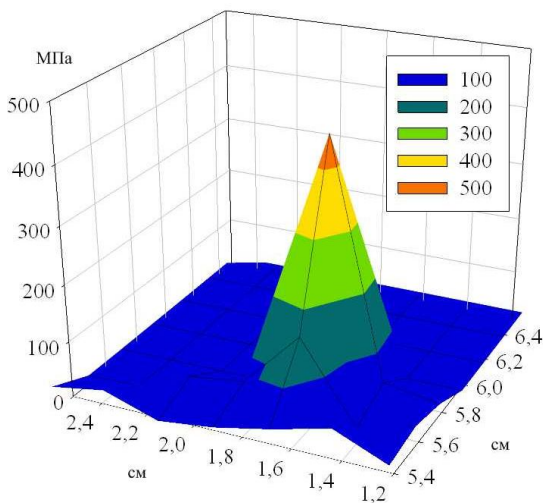


Рис.3. Интенсивность деформаций в зоне ударного нагружения

Выводы. Результаты численных исследований показывает, что сочетание метода конечных элементов и адаптированного метода конечных разностей позволяет решать широкий круг задач по динамике элементов сельскохозяйственного оборудования при воздействии нестационарных вибрационных и ударных нагрузок. Развитие методики, использующих специальный конечный элемент, обеспечивающий моделирование сингулярных свойств напряжений позволяет выявить особенности распределения и локализации напряжений в элементах конструкций с повреждениями. Метод конечных разностей, адаптированный с учетом конечных упругопластических деформаций и изменения динамических свойств материалов в зоне удара, позволил проводить эффективный анализ динамического НДС элементов ответственных конструкций.

Список использованных источников

1. Вычислительные методы в механике разрушения: Пер. с англ./ Под ред. С. Атлури. – М.: Мир, 1990. – 392 с.
2. Токарь И.Г. Исследование влияния повреждений однотипных элементов на колебания регулярных систем / И.Г. Токарь, А.П. Зиньковский // Проблемы прочности. – 2006. - №2. – Р. 39-46.
3. Воробьев Ю.С. Прочность цилиндрических элементов конструкций при локальном ударе / Ю.С. Воробьев, М.В. Чернобрылко, Д.Ю. Темнохуд // Вестник ХНТУСГ. – Вып. 80, 2009. – С. 281 – 285.
4. Писаренко Г. С. Деформация и прочность материалов при сложном на-

пряженом состоянии / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев // Киев: Наук. думка, 1976. – 214 с.

- 5 Воробьев Ю.С. Моделирование высокоскоростных деформационных процессов с использованием адаптивных вычислительных методов / Ю.С. Воробьев, М.В. Чернобрышко // Механіка та машинобудування. – 2009.- № 1 - С. 112-119.

Анотація

МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ПОШКОДЖЕНЬ

Воробйов Ю.С., Чернобрышко М.В., Чугай М.О.

Розглянуто коливання елементів машин з урахуванням пошкоджень. Моделювання об'єктів проводилося на основі тривимірного підходу методу скінченних елементів з використанням сингулярних елементів. Проведено чисельний аналіз деформаційних процесів елементів конструкцій при локальних ударних навантаженнях.

Abstract

STRENGTH DESIGN ELEMENTS IN VIEW OF DAMAGE

Vorobiov Iu. S., Chernobryvko M.V., Chugay M.A.

Vibrations of machine elements subject to damage. The modeling was carried out on the basis of three-dimensional approach of the finite element method with the use of singular elements. Numerical analysis of structural elements deformation processes under local impact loads is investigated.