

Контактное взаимодействие балочно-оболочечных структур

Салтыкова Ольга Александровна¹, Папкова Ирина Владиславовна², Вецель Сергей Сергеевич³

1 - Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Физико-технический факультет, Математика и моделирование (МиМ), Саратов, Россия;

2 - Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

Саратов, Россия; 3 - Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Физико-технический факультет, Математика и моделирование (МиМ), Саратов, Россия

E-mail: tandem_s1@mail.ru

Балочные и оболочечные структуры находят широкое применение в современной промышленности, поэтому исследование нелинейной динамики и хаотической синхронизации сложных механических структур состоящих из балок и оболочек является очень важной задачей. В работе построена математическая модель нелинейных колебаний двух вложенных одна в другую замкнутых цилиндрических оболочек, подкрепленных балками с двух диаметрально противоположных сторон. На балки действует распределенная знакопеременная нагрузка, с различной частотой и одинаковой амплитудой. В качестве исходных уравнений для балок и оболочек взяты уравнения геометрически нелинейной структуры В.В.Новожилова [3], в трехмерной постановке. Контактное давление определяется по методу Б.Я.Кантора [2]. Уравнения в частных производных для балок и оболочек сводятся к задаче Коши методом конечных элементов по пространственным переменным и решаются с помощью программного пакета LS-DYNA методом явного интегрирования (методом Эйлера).

Конечно-элементная модель для каждой оболочки содержит 25 тысяч узлов, а для балок 16 тысяч элементов. По толщине балки разбиты тремя конечными элементами, а по длине - 50-ю. Количество элементов по толщине и длине объектов выбиралось по принципу Рунге. Материал оболочек и балок сталь 12X18H10T со следующими физико-механическими свойствами [1]: модуль Юнга 20900 кгс/мм² ; коэффициент Пуассона 0,3; плотность $8 \cdot 10^{-10}$ кгс*с²/мм⁴. Граничные условия несимметричны, с одной стороны балки и оболочки шарнирно оперты, а с другой зашцеplены. Начальные условия нулевые. Длина балок и оболочек 200 мм, радиусы оболочек составляют 100 мм и 98 мм для внешней и внутренней соответственно, толщины оболочек 2 мм. Толщина балок 10 мм. Частоты вынуждающих колебаний действующих на балки 142 Гц и 143 Гц, находятся в окрестности резонансной частоты, амплитуды вынуждающих колебаний 3; 6; 9; 12; 15 кгс/мм².

В работе исследуется контактное взаимодействие и нелинейная динамика описанной механической структуры методами нелинейной динамики и качественной теории дифференциальных уравнений. Построены и проанализированы сигналы, спектры мощности Фурье, вейвлет-анализ Морле (с помощью которых можно исследовать изменение частотных характеристик сигнала в каждый момент времени, а не интегрально, как Фурье анализ), сечение Пуанкаре, фазовые портреты для каждого элемента структуры. Впервые обнаружено явление хаотической фазовой синхронизации описанной механической структуры.

Источники и литература

- 1) Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя, в трех томах / Анурьев В.И. М.: Машиностроение, 2001.
- 2) Кантор Б.Я. Контактные задачи нелинейной теории оболочек вращения / Кантор Б.Я., Киев, Наук. думка, 1990.

- 3) Новожилов В.В. Основы нелинейной теории упругости / Новожилов В.В. ОГИЗ, Л.-М., 1948.

Слова благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-01-00721 А.