

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Guyan R.J. Reduction of stiffness and mass matrices // AIAA Journal. - 1965. - Vol. 3, No2. - P. 380 - 391.

УДК 539.43

Карманов В.П.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ СХОДИМОСТИ И ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Одним из условий, стоящих перед разработчиком программных средств, является условие достоверности результатов, получаемых с помощью этих программ. Для этого необходимо исследовать и обосновать достоверность и точность получаемых с помощью этих программ результатов, разработать рекомендации по выбору методических параметров расчета и тем самым создать условия для их широкого внедрения в практику инженерных расчетов.

В большинстве случаев сходимость и точность алгоритмов и программ проверяют путем решения тестовых задач со сравнением получаемых результатов с известными аналитическими решениями, с численными и экспериментальными исследованиями других авторов. Так при тестировании программ, реализующих конечно-элементные и суперэлементные методы расчета динамических характеристик конструкций, исследуют точность матриц жесткости и масс используемых конечных элементов путем решения задач свободных и вынужденных колебаний стержневых, пластинчатых и других систем [1,2]. Одновременно оценивается влияние дискретизации на точность получаемого результата.

Сравнительно реже рассматриваются задачи оценки влияния демпфирования на динамические характеристики конструкций. Количественные оценки коэффициентов, характеризующих демпфирование, затруднены, однако демпфирование можно оценить по характеру динамических перемещений в специально подобранных колеблющихся системах. Динамические перемещения системы с одной степенью свободы, колебания которой возбуждаются

гармонической силой постоянной амплитуды, можно использовать для определения демпфирующих свойств системы путем измерений нескольких характеристик: ширины полосы частот динамических откликов, амплитуды динамических перемещений при резонансе, диаграммы Найквиста, петли гистерезиса и динамической жесткости [3].

Наиболее ответственным этапом анализа динамических характеристик конструкций методом суперэлементов является редуцирование исходных матриц расчетной системы. Для оценки разработанного алгоритма исключения (редуцирования) внутренних степеней свободы рассматривался следующий пример. Для конструкции, расчетная схема которой показана на рис. 1, определялись частоты собственных колебаний. Расчетная схема включает в себя 20 узлов, один из которых жестко закреплен. Все стержни имеют одинаковые характеристики. Таким образом всего изначально имеется 114 ( $6 \cdot 20 - 6$ ) степеней свободы. Исследовался частотный диапазон от 0 до 300 Гц. Шаг по частоте - 1 Гц.

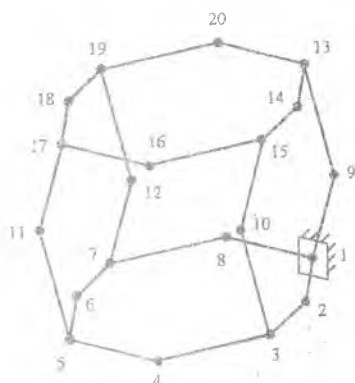


Рис. 1

Всего в исследуемом диапазоне оказалось 9 собственных частот. Результаты приведены в табл. 1. Под точным решением подразумеваются собственные частоты, найденные с использованием исходных (нередуцированных) матриц размерности  $114 \times 114$ . Под приближенным решением подразумеваются частоты, полученные при помощи разработанного алгоритма, в результате работы которого редуцированные матрицы имели размерность  $17 \times 17$ .

Наиболее важным и показательным результатом является то, что для достаточно точного (0,02 ... 1,4 %) вычисления первых девяти частот автоматически оставлены всего 17 степеней свободы из первоначальных 114.

Таким образом, приведенный численный эксперимент подтверждает правильность разработанного алгоритма, а также его новизну и достоинство, заключающиеся в обоснованном и автоматическом исключении внутренних степеней свободы.

Таблица 1. Частоты собственных колебаний конструкции

Номер тона	Точное решение, Гц	Приближенное решение, Гц	Относительная погрешность, %
1	32,440	32,452	0,04
2	36,494	36,501	0,02
3	77,075	77,230	0,20
4	102,050	102,280	0,20
5	168,313	169,150	0,50
6	176,165	177,150	0,60
7	219,730	222,720	1,40
8	243,210	245,100	0,80
9	276,190	279,910	1,30

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость / Н.И. Шапольников, Н.Д. Тарабасов, В.Б. Петров, В.И. Мяченков. - М.: Машиностроение, 1981.
2. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В.И. Мяченков, В.П. Мальцев, В.П. Майборода и др.; Под общ. ред. В.И. Мяченкова. - М.: Машиностроение, 1989.
3. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний: Пер. с англ. - М.: Мир, 1988.