

УДК 629.76

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ И ФОРМ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Малыхина О. И., Авраменко А. А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Задача сравнительного анализа различных методов расчета частот и форм колебаний (динамических характеристик) упругих тел большого продольного удлинения с переменными массово-жесткостными характеристиками имеет практическую значимость для обеспечения прочности и надежности изделий ракетно-космической техники. Это определяется тем, что в процессе проектирования и эксплуатации ракетной техники необходимо уметь определять и прогнозировать внутренние силовые факторы в элементах конструкции. Кроме того, динамические составляющие нагрузок, возникающих в сечениях конструкции, имеют значительный вклад в общий уровень нагружения изделия, а точность их определения непосредственно связана с выбранным методом расчета динамических характеристик конструкции [2].

Математическая модель ракеты-носителя, используемая для решения прочностных задач, может иметь разную степень детализации в зависимости от решаемой задачи. В большинстве известных методик, применяемых для расчета корпусных нагрузок, она представлена в виде упругой балки с переменными по длине значениями распределенных масс и жесткостей, имеющими скачкообразный характер изменения. Поэтому на первом этапе с целью выбора подходящего метода для оценки динамических свойств конструкции ракеты-носителя можно использовать результаты исследования практической применимости существующих методов расчета форм и частот балок, представляющих собой последовательность соединенных элементов с постоянными массово-жесткостными характеристиками.

В данной работе проведен сравнительный анализ широко распространенных методов расчета динамических характеристик применительно к двум моделям с разной степенью детализации.

Первая модель представляет собой трехступенчатую балку большого относительного продольного удлинения.

В качестве второй модели использовалась конструкция, характеристики которой приведены в работе [4]. Массовые и жесткостные характеристики указанной конструкции имеют ступенчатый характер изменения, при этом границы участков, на которых изменяются величины распределенных масс и жесткостей, не совпадают. Имея изначально 26 участков, характеризующихся постоянством жесткостных характеристик и 33 участка, на которых постоянной является масса, путем их сопоставления, мы получаем 39 участков с однородными по длине массово-жесткостными характеристиками.

Рассмотрены метод начальных параметров [3] и метод Релея-Ритца [1]. Разработаны алгоритмы и программные тексты, позволяющие реализовать указанные способы расчета. Несколько доработан метод практической реализации способа расчета динамических характеристик неоднородных балочных конструкций с помощью многократного решения задачи Коши, приведенный в работе [4]. Кроме того, для тех же исходных данных составлены конечно-элементные модели ступенчатых балок в формате MSC/NASTRAN и проведен расчет собственных значений и векторов.

Первую модель балки, имеющую три однородных участка, весьма удобно было использовать на первом этапе с целью разработки алгоритмов, реализующих выбранные методы расчетов, а также для первоначальной их верификации.

Вторая модель была выбрана для оценки применимости рассматриваемых методов расчета динамических характеристик и разработанных алгоритмов к реальным конструкциям, а также с целью дополнительной верификации алгоритмов расчета, усовершенствованных таким образом, чтобы их можно было применять для неоднородных балок, имеющих любое количество участков.

Проведены тестовые расчеты собственных частот и форм для первых трех тонов колебаний двух выбранных балочных моделей всеми указанными выше способами. Выполнен сравнительный анализ результатов, полученных различными способами. Кроме того, было проведено сравнение с результатами, полученными для второй модели с данными результатов расчета, приведенными в работе [4].

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что все рассмотренные методы дают сопоставимые результаты, однако наиболее точным является метод начальных параметров. Для того чтобы с помощью метода конечных элементов получить удовлетворительные результаты, необходимо тщательно подходить к выбору числа элементов при дискретизации модели.

Библиографический список

1. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний: Учебник для вузов. [Текст]/ В. Л. Бидерман // М.: Высш. школа. - 1980. - 480 с
2. Гладкий, В. Ф. Динамика конструкции летательного аппарата [Текст]/ В. Ф. Гладкий// М.: Наука. - 1969. - 495 с.
3. Кармишин, А. В. Основы отработки прочности ракетно-космических конструкций [Текст]/ А. В. Кармишин, А. И. Лиходед, Н. Г. Паничкин, С. Н. Сухинин// М.: Машиностроение. - 2007. - 480 с.
4. Кирилин, А. Н. Проектирование, динамика и устойчивость движения ракет-носителей: Методы, модели, алгоритмы, программы в среде MathCad [Текст]/ А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, А. В. Соллогуб // М.: Машиностроение. - 2013. - 296 с.