

О расчете собственной частоты колебаний прямоугольных ячеек электронной аппаратуры с точечным креплением

Оценивается точность расчета собственной частоты колебаний (СЧК) прямоугольных ячеек электронной аппаратуры (ЭА) с точечным креплением по известным формулам. Показывается, что эти формулы могут быть применимы только для квадратных ячеек. При другом соотношении сторон ячейки ошибка в определении СЧК может достигать 80% и более.

При обеспечении виброзащиты ячеек ЭА конструктору необходимо рассчитывать их СЧК. Для прямоугольных ячеек с точечным креплением рис.1 рекомендуется применение формул, опубликованных в ряде источников [1, 2, 3]. Все они могут быть представлены к известному виду:

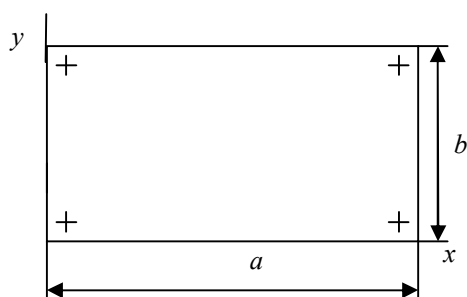


Рис. 1. Схема ячейки

$$f_{oi} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{m}} \quad (1)$$

где a , b – длина и ширина ячейки, D – цилиндрическая жесткость, m – масса единицы площади ячейки, i , j – число полуволин в направлении осей x и y при изгибных колебаниях ячейки.

Часто, например, при частотной отстройке, требуется рассчитать только первую СЧК и формула (1) в этом случае

принимает вид:

$$f_{01} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{m}} \quad (2)$$

На рис.2 графически представлены результаты расчета по формуле (2) и с использованием системы конечно-элементного анализа (СКЭА) “ANSYS” СЧК ячеек площадью 165 см^2 , толщиной $0,8 \text{ мм}$, выполненных из стеклотекстолита МИ 1222 с модулем упругости $2,88 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, коэффициент Пуассона $0,27$, и плотностью 2452 кг/м^3 при различных соотношениях сторон a/b .

Видно, что отклонение при расчете по формуле (2) от расчета в СКЭА “ANSYS” уже при соотношении сторон $a/b=2$ превышает 100%. В тоже время экспериментальные значения СЧК, показанные точно на рис.2 имеют отклонение от результатов, полученных при расчете в “ANSYS” не более чем на 10%.

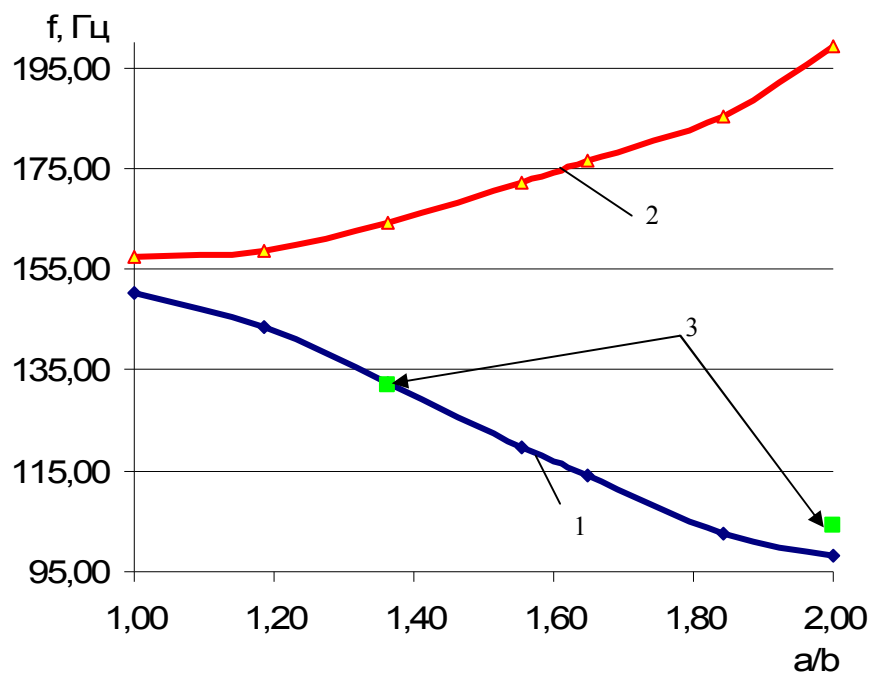


Рис.2. Зависимость СЧК от отношения сторон
 1- СКЭА “ANSYS”
 2- По формуле (2)
 3- Экспериментальные значения

Большие ошибки при расчете СЧК прямоугольных плат с отношением сторон $a/b > 1,15$ по формуле (2) объясняются довольно просто, если вспомнить, что СЧК балок рассчитывается по формуле:

$$f_{01} = \frac{\pi}{2a^2} \sqrt{\frac{B}{m}},$$

где B – жесткость балки на изгиб, которая получается из формулы (1), если принять $j=0$. Следовательно, все прямоугольные ячейки могут рассчитываться по формуле (1), но величина j должна изменяться в пределах от 1 (для квадратных плат) до 0 (для балок). К сожалению, в литературе, посвященной сопротивлению материалов и теории колебаний, нет однозначного разделения плоских конструкций на балки и пластины. Отмечается, что балки это пластины, у которых длина во много раз больше ширины.

В табл.1 приведены результаты расчетов СЧК с использованием в СКЭА “ANSYS” и по формуле (1), в которой использованы значения j , полученные путем простого подбора:

Таблица 1

Размеры, м		a/b	Результаты расчета f, Гц			отклонение %
a	b		ANSYS	j(b)	формула (1)	
0,18	0,09	2,00	98,24	0,61	99,12	0,89
0,18	0,10	1,84	102,62	0,65	102,56	0,06
0,17	0,10	1,65	114,06	0,72	114,30	0,21
0,16	0,10	1,55	119,75	0,75	118,84	0,76
0,15	0,11	1,36	132,57	0,84	132,61	0,03
0,14	0,12	1,19	143,35	0,91	142,60	0,53
0,13	0,13	1,00	150,46	0,95	149,86	0,40

Видно, что разница между значениями СЧК не превышает 1%. Если брать $j=1$ для $a/b < 1,2$, то получается погрешность до 15%.

Полученные результаты наглядно подтверждаются изображениями форм колебаний пластин, полученных с помощью СКЭА “ANSYS” при соотношении сторон $a/b=1$ (Рис.3а) и $a/b=5$ (Рис.3б).

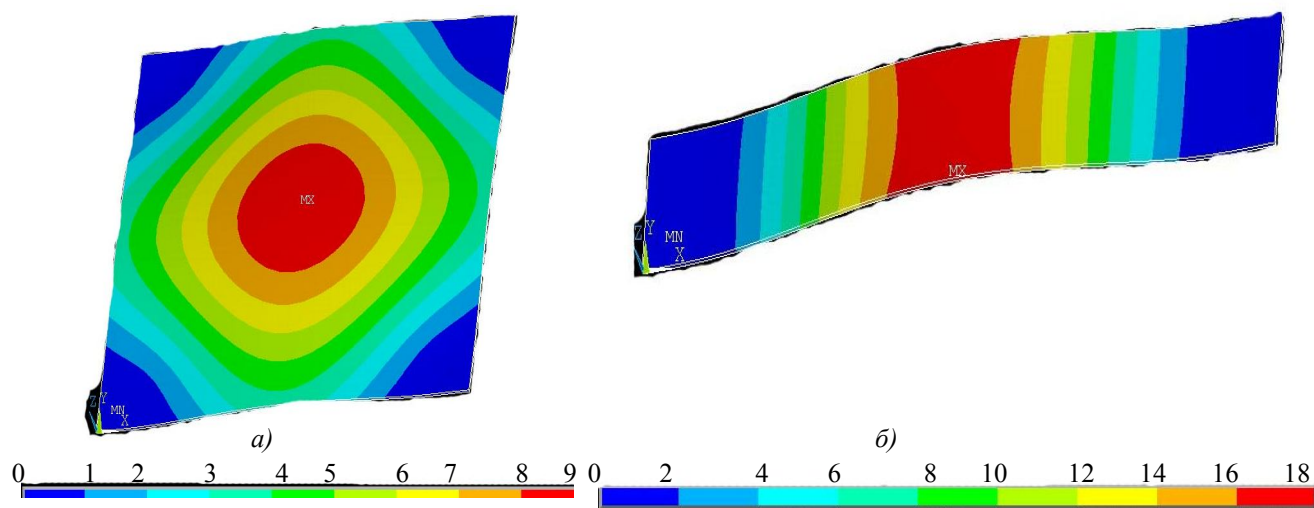


Рис.3. Первая форма колебаний пластин

Наглядно видно, что при $a/b=5$ в поперечном направлении не получается полуволны колебаний и нельзя принимать $j=1$.

Вывод:

1. Формулы (1) и (2) применяются только для расчета квадратных или близких к ним ($a/b < 1,2$) пластин.
2. Для пластин с отношением $a/b > 1,2$ необходима разработка новых формул, учитывающих как соотношение сторон, так и другие конструктивные параметры ячеек.

Литература:

1. Пузиков А.А., Кузьмич А.Н. Определение частот и форм собственных колебаний четырехпорных печатных плат малогабаритных ЦВМ. “Вопросы радиоэлектроники”, серия VII, Электронная вычислительная техника, вып.3, 1968.
2. Фролов В.А. – Механические воздействия и защита электронной аппаратуры. Киев, “Вища школа”, 1979.
3. ОСТ 4Г 0.010.009-84. Модули электронные первого и второго уровней радиоэлектронных средств. Конструирование.