

## Радиотехническая аппаратура

### **Методика виброзащиты радиотехнических устройств частотной отстройкой**

Евгений Николаевич Талицкий - доктор технических наук, профессор ВлГУ

Петр Викторович Кутровский – аспирант

Сергей Викторович Шумарин - аспирант

Радиотехнические устройства (РТУ), устанавливаемые на подвижных объектах — самолетах, бронетранспортерах, ракетах и т.д., в процессе эксплуатации подвергаются интенсивным механическим воздействиям - ударам, вибрациям, линейным перегрузкам, акустическим шумам. Надежность таких РТУ может снижаться в десятки и сотни раз по сравнению с аналогичными, используемыми в стационарных условиях. Для многих видов РТУ, применяемых при воздействии вибраций в широком диапазоне частот, например, самолетных и ракетных, наиболее опасны вибрации, так как они приводят к возникновению резонансных колебаний, таких широко распространенных элементов конструкций РТУ, как ячейки, состоящие из электромонтажных плат с установленными на них электрорадиоэлементами (ЭРЭ). Виброперегрузки ЭРЭ увеличиваются при этом в десятки раз, что вызывает значительное возрастание интенсивности отказов как за счет механических разрушений элементов конструкций, так и за счет искажения параметров электрических сигналов [1]. В этом случае виброзащита РТУ, в основном, сводится к устранению резонансных колебаний ячеек. Поэтому устранение резонансных колебаний плат, шасси и других элементов конструкций РТУ или снижение амплитуд резонансных колебаний (АРК) до допустимого уровня составляют одну из важнейших задач разработчиков РТУ, применяемых в условиях интенсивного воздействия вибраций в широком диапазоне частот.

Решение этой проблемы достигается частотной отстройкой или увеличением демпфирующих свойств конструкций. Последний способ, несмотря на определенные сложности, применяется для уменьшения амплитуд резонансных колебаний самолетной, ракетной и другой аппаратуры, на которую воздействует вибрация в диапазоне частот до 1000Гц и выше.

Если верхняя граница частоты не превышает 200-300Гц, предпочтительнее использовать частотную отстройку, так как она конструктивно и технологически проста. Однако, если верхняя частота возбуждения 500Гц и выше, то применение ЧО так же вызывает значительные трудности. Это обусловлено в первую очередь тем, что для устранения резонансных колебаний ячеек ЭС или других элементов конструкций частотной отстройкой необходимо, чтобы первая собственная частота колебаний не менее чем на 30% превышала максимальную частоту возбуждения [2]. Так, например, для ячеек ЭС, установленных на подвижных объектах, на которые воздействует вибрация в диапазоне до 500Гц необходимо обеспечить первую СЧК не менее 650Гц. Это достигается увеличением толщины конструкции, уменьшением ее площади, повышением жесткости крепления, применением ребер жесткости, что в конечном итоге часто приводит к недопустимо большому увеличению массы ячеек и значительному уменьшению их площади, пригодной для монтажа ЭРЭ. Отсутствие методики проектирования ЧО приводит к значительным затратам времени.

Практически впервые сравнительный анализ различных способов ЧО ячеек ЭС был проведен в работах [2-4]. Было показано, что наиболее эффективным способом ЧО прямоугольных ячеек, с точки зрения минимизации массы ячейки, является применение ребер жесткости. При этом их необходимо размещать вдоль узловых линий и ребра должны обязательно заканчиваться на опорах ячейки. Если, например, необходимо обеспечить

первую СЧК не менее 650 Гц следует найти СФК, соответствующую частоте примерно 650 Гц, затем конструктивно обеспечить применением ребер жесткости такую СФК уже на первой СЧК.

В качестве примера на рис.1 приведены пятая СФК ячейки из стеклотекстолита, жестко закрепленной по контуру, и первая СФК такой же ячейки но с ребрами жесткости, установленными по узловым линиям. Размеры ячейки 1,5x200x250мм, а поперечного сечения ребер, выполненных также из стеклотекстолита, 2x10мм. Синим цветом показаны узловые линии.

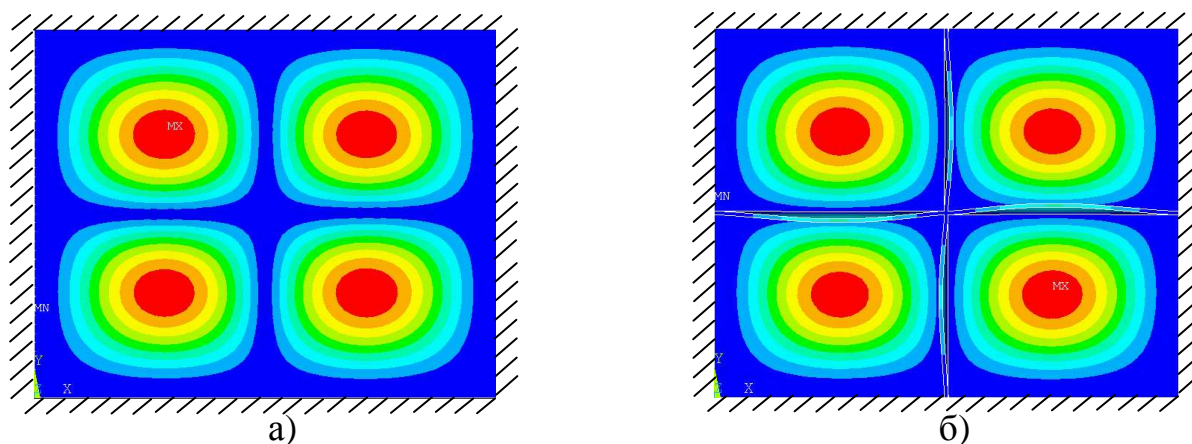


Рис.1. Собственные формы колебаний ячеек жестко закрепленных по контуру

а – пятая СФК ячейки без ребер жесткости,  $f=652$ Гц;

б – первая СФК ячейки с ребрами,  $f=693$ Гц

Видно, таким образом, что установка ребра решает задачу ЧО. Установка ребра в любом другом направлении ухудшает эффективность ЧО. Было показано [2], что если не удастся обеспечить ЧО применением ребер жесткости, следует далее уменьшать площадь ячеек, затем повышать жесткость крепления и, наконец, увеличивать толщину ячейки.

Для реализации разработанной методики в работе [3] на основе регрессионного анализа приведены математические модели для ряда прямоугольных ячеек с «классическими» способами крепления в виде жесткого защемления, свободного опирания или свободного, неопертого, края, а так же ячеек, имеющих точечное симметричное крепление.

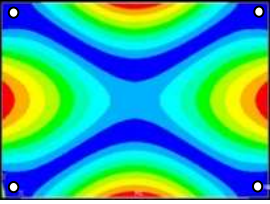
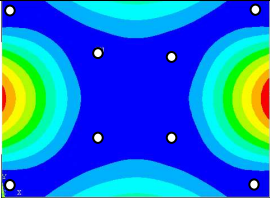
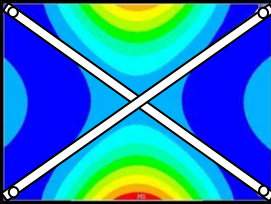
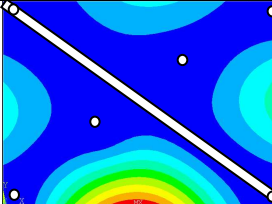
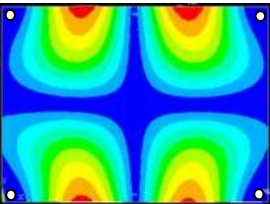
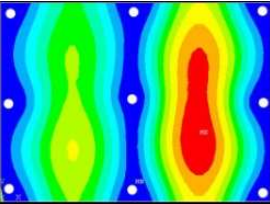
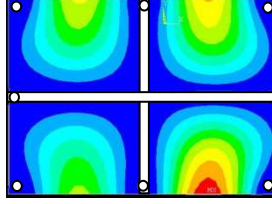
В тоже время на практике часто возникает потребность применять ячейки, отличные от прямоугольной конфигурации, с различными, например, несимметричными точечными способами крепления. Это вызывает необходимость разработки методики, которая позволяет эффективно применять ЧО, для конструкций любой формы и способов крепления. Расчеты конструкций сложной формы и способов крепления необходимо проводить на основе конечно-элементного анализа, например, в системе Ansys. Однако интерфейс подобных программ рассчитан на широкое, обобщенное применение в различных областях деятельности, что осложняет его использование для решения частных задач, таких как проектирование виброзащищенных ячеек, а также решать задачи оптимизации. С этой целью нами разработана программа VibroDefence [5], которая имеет в своем составе пре- и постпроцессор, использующий Ansys как вычислитель, что не требует от разработчика РТУ изучения встроенного интерфейса и в тоже время позволяет наблюдать на мониторе СФК ячеек любой сложности и выбирать те формы, которые конструктивно обеспечивают требуемую частоту, а так же оптимизировать массогабаритные показатели.

В качестве примера в таблице 1 приведены возможные конструктивные решения ЧО для ячеек РТУ, на которые действует вибрация в диапазоне до 500 Гц, что характерно для некоторых видов аппаратуры, устанавливаемой на подвижных объектах с гусеничным и колесным ходом (ГОСТ РВ 20.39.304-98) на основе анализа СФК ячеек.

Таблица 1

Собственные формы колебаний

№ СФК	Формы колебаний и СЧК, Гц	Повышение СЧК установкой доп.т.кр., Гц	Повышение СЧК установкой ребер жесткости, Гц	Повышение СЧК установкой ребер жесткости и доп.т.кр., Гц
1	2	3	4	5

4	 561, Гц	 610, Гц $m \uparrow = 39,6\%$ $S \downarrow = 1,4\%$	 686, Гц $m \uparrow = 21,3\%$ $S \downarrow = 6,7\%$	 700, Гц $m \uparrow = 33,2\%$ $S \downarrow = 4\%$
5	 872, Гц	 953, Гц $m \uparrow = 49,4\%$ $S \downarrow = 1,8\%$	----- не применимы	 1249, Гц $m \uparrow = 58,4\%$ $S \downarrow = 6,1\%$

В табл.1.  $m \uparrow$  - обозначает увеличение массы конструкции относительно начального варианта;  $S \downarrow$  - уменьшение площади под ЭРЭ.

Расчеты в табл. 1 представлены для плат с размерами 1,5x110x150мм выполненных из стеклотекстолита МИ1222. Точка крепления представляет собой винт В.М2.5-6gx10.32ЛС59-1.133 ГОСТ17476-80 массой 0.8г – 1 шт, шайба изоляционная А2.5. 04. 013 – ГОСТ 11371-78 массой 0.1г – 2шт, стойка крепежная массой 9г – 1 шт. и уменьшает полезную площадь на 59мм<sup>2</sup>. Ребра жесткости сечением 3x10мм выполнялись из материала платы. Для наглядности полученных результатов ЭРЭ не учитывались.

В начале определяется СФК, соответствующая значению СЧК, превышающему верхнюю границу частоты возбуждения (столбец 2). Если верхняя частота, например, равна 500Гц, то этому условию удовлетворяет четвертая СФК, которой соответствует  $f=561$ Гц. Затем рассматриваются способы получения данной СФК уже на первой СЧК с учетом возможных изменений начальной конструкции (столбцы 3-5). Из представленных вариантов условию  $f_1 > 1,3f_v$  удовлетворяют те, которые обеспечивают частоты 686 и 700Гц. Как видно, это же условие выполняется при обеспечении пятой

СФК вариантами конструкций, приведенными в столбцах 3-5. Окончательный выбор определяется разработчиком или с использованием комплексного показателя качества, учитывающего изменение массы, площади и другие факторы.

Для примера, в табл.2. приводятся результаты расчета комплексного показателя трех вариантов ЧО по формуле:

$$K=q_m K_m+q_S K_S,$$

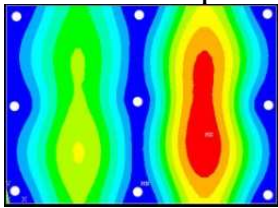
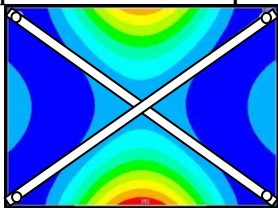
где  $K_m = \frac{m_H}{m_K}$ ;  $K_S = \frac{S_K}{S_H}$ ;  $q_1, q_2$  – коэффициенты веса;  $m_H, m_K$  – массы ячейки

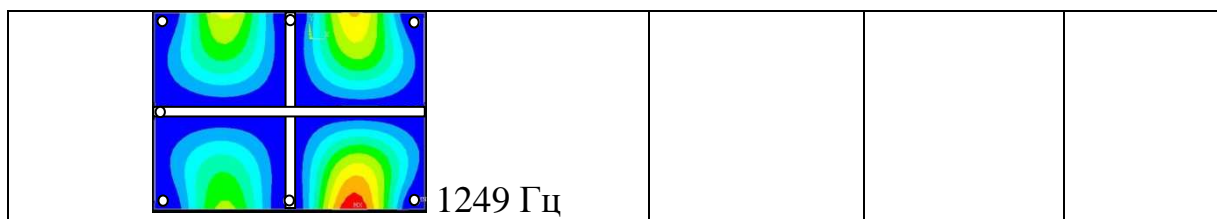
до и после ЧО;  $S_H, S_K$  – полезная площадь ячейки до и после ЧО.

Учитывалось только изменение массы и площади конструкции для монтажа ЭРЭ. Для примера возьмем весовые коэффициенты  $q_m=0,6$ ;  $q_S=0,4$ . Тогда при  $m_H=101г$  – масса платы с четырьмя точками крепления;  $S_H=S_{пл}-S_{кр}=165-4\cdot 0,6=162,6см^2$ . Масса  $m_K$  для первого варианта конструкции будет равна  $m_H+5m_{т.кр.}=101+50=151г$ ;  $S_K=S_H-5S_{т.кр.}=162,6-2,95=159,65см^2$  и т.д.

Таблица 2

Результаты расчета комплексного показателя

Вариант конструкции	$K_m$	$K_S$	$K$
1. девятиточечное крепление  953 Гц	0,67	0,98	0,79
2. два диагональных ребра при четырехточечном креплении  686 Гц	0,82	0,93	0,87
3. два ребра параллельных сторонам при восьмиточечном креплении	0,65	0,94	0,76



Второй вариант характеризуется наибольшим значением комплексного показателя. Выбранный вариант был проверен экспериментально при испытаниях на вибростенде ВЭДС-200 на трех образцах, среднее значение СЧК составило 603Гц, отклонение от расчетного значения 12%, что удовлетворительно.

Рассмотренный подход применим к конструкциям практически любых конфигураций и крепления. Если имеется возможность крепления плат не только в узлах, но и на некотором расстоянии от краев ( $a_1$ ,  $b_1$ ), то ЧО целесообразно начинать со смещения точек крепления к центру на величину  $0,2 \div 0,33$  длины стороны, что сразу дает возможность повысить СЧК в 2-3 раза (рис.2.) [4]. В этом случае обеспечить выполнение условия ЧО можно уже при организации третьей СФК, что существенно уменьшит превышение массы конструкции над исходной (рис. 2).

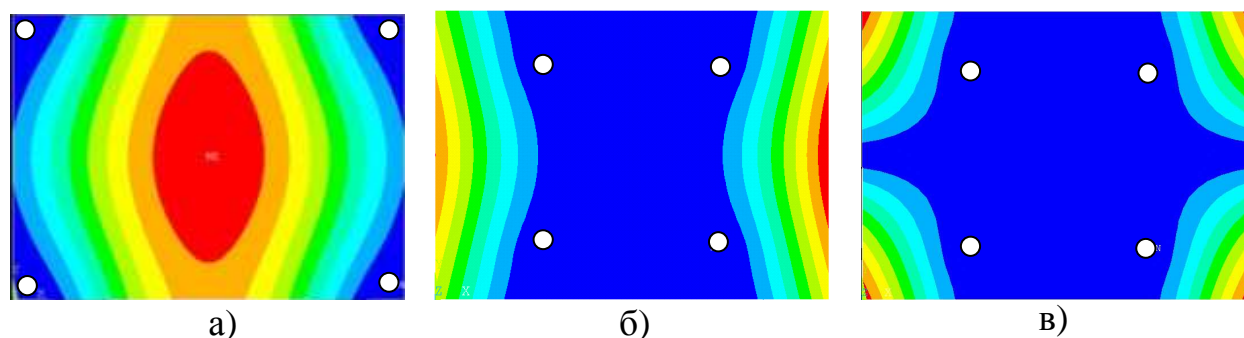


Рис.2. Собственные формы колебаний ячеек ЭС с четырехточечным крепление размерами 1,5x110x150мм  
 а –  $a_1=5\text{мм}$   $b_1=5\text{мм}$ ,  $f_1=206\text{Гц}$ ; б –  $a_1=45\text{мм}$   $b_1=20\text{мм}$ ,  $f_1=457\text{Гц}$ ; в -  $a_1=45\text{мм}$   $b_1=20\text{мм}$ ,  $f_3=719\text{Гц}$

*Заключение:*

Разработанная методика ЧО ячеек РТУ совместно с программным комплексом VibroDefence позволяет выбрать оптимальный вариант частотной отстройки и сократить время проектирования.

#### Литература

1. Steinberg D.S. Vibrations analysis for electronic equipment. – New York, 1973. – 456p.
2. Талицкий Е.Н., Ухин В.А. Математическое моделирование ячеек электронной аппаратуры с ребрами жесткости / Проектирование и технология электронных средств. Владимир, 2005. -№3. с. 12-15.
3. Ухин В.А., Талицкий Е.Н. Определение собственных частот колебаний ячеек радиотехнических устройств со сложным способом закрепления / Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы VI международной научно-технической конференции. Владимир, 2005. с. 156-158.
4. Кутровский П.В., Талицкий Е.Н. К вопросу об оптимизации конструкций виброустойчивых ячеек электронной аппаратуры / Проектирование и технология электронных средств. – Владимир, 2005. - №4. с. 13-15.
5. Талицкий Е.Н., Шумарин С.В. Программный комплекс проектирования виброзащиты ячеек электронной аппаратуры / Программные продукты и системы. – Тверь, 2008. – №3.

#### Список ключевых слов

Виброзащита; частотная отстройка; ячейка; радиотехнические устройства; собственная частота колебаний.

#### Краткая аннотация



Рассматриваются способы виброзащиты ячеек радиотехнических устройств частотной отстройкой. Предлагается методика проектирования частотной отстройки для ячеек сложных конфигураций и различных способов крепления на базе системы конечно-элементного анализа Ansys. Приводятся примеры использования разработанной методики.

Кутровский Петр Викторович – аспирант;

Шумарин Сергей Викторович – аспирант;

Талицкий Евгений Николаевич - доктор технических наук, профессор ВлГУ  
600000 г. Владимир, ул. Горького 87, ВлГУ, ФРЭМТ, КТРЭС,  
т.279-279, e-mail: **ental@vpti.vladimir.ru**