

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Горбач А. П., Голубов Н. А., Середа А. С.*

*Алексеев В. Ф. – канд. техн. наук, доцент*

Рассмотрено влияние вибраций на радиоэлектронные средства. Описано применение виброизоляторов для обеспечения стойкости электронных систем к механическим воздействиям. Приведена расчетная модель конструкции РЭС на виброизоляторах для моделирования.

Большинство современных технических объектов и систем имеют в своем составе радиоэлектронные средства (РЭС), осуществляющие различные функции. Также, с каждым годом возрастает сложность и круг решаемых задач с использованием РЭС. Таким образом, обеспечение надежности РЭС является очень важным фактором [1].

Порядка половины отказов РЭС вызывается механическими воздействиями. Наиболее опасными из механических воздействий, приводящих к ухудшению надёжности и стабильности работы аппаратуры, являются линейные перегрузки, гармонические и случайные вибрации, а также удары [1].

Конструкции бортовых РЭС чаще всего подвергаются вибрационным воздействиям со следующими характеристиками: диапазон вибраций от 20 до 2000 Гц; уровень ускорений гармонической вибрации и среднеквадратических ускорений случайной вибрации – 50 g; температура участков конструкций бортовой аппаратуры достигает +85°С. В подобных условиях часто не удается избавиться от резонансов в конструкции; что приводит к превышению допустимых ускорений электрорадиоизделий (ЭРИ), перемещений и напряжений в элементах конструкций. При вибрационных воздействиях в выводах ЭРИ возникают знакопеременные механические напряжения. Это приводит к накоплению усталостных повреждений в материалах выводов и при длительном воздействии вибрации может привести к их обрыву, то есть к потере работоспособности ЭРИ [2].

Применение виброизоляторов является одним из основных способов обеспечения стойкости конструкций РЭС к механическим воздействиям. В настоящее время существует большое количество различных виброизоляторов, которые отличаются друг от друга по виду упругого элемента и по конструктивному исполнению. Это является следствием широкого диапазона условий эксплуатации и допустимых значений ускорений элементов аппаратуры [2].

Введение виброизоляции приводит к ослаблению связей между источником и объектом; при этом уменьшаются динамические воздействия, передаваемые объекту. Ослабление связей обычно сопровождается возникновением некоторых нежелательных явлений - увеличением статических смещений объекта относительно источника, что приводит к увеличению расстояний между узлами конструкции и увеличению габаритов системы. Тем самым применение виброизоляции как метода виброзащиты в большинстве случаев связано с нахождением компромиссного решения, удовлетворяющего всю совокупность требований [2].

При всем многообразии конструктивных схем виброизоляторов, каждый из них состоит из упругого элемента, деталей, обеспечивающих демпфирование и узлов крепления. Упругие элементы обладают самой различной формой, работающей на сжатие, растяжение, сдвиг и кручение. Демпфирование колебаний в виброisolаторе может осуществляться за счет внутреннего трения в материале и/или специальных устройств, рассеивающих энергию колебаний [1].

Наиболее распространенными конструкциями виброизоляторов являются: резиново-металлические виброизоляторы; пружинные виброизоляторы с фрикционным демпфированием; цельнометаллические виброизоляторы со структурным демпфированием [1].

Резиново-металлические виброизоляторы обладают такими преимуществами, как компактность, простота изготовления и возможность установки в любом месте конструкции и под любым углом. К недостаткам таких виброизоляторов можно отнести: высокие частоты собственных колебаний; неспособность длительное время выдерживать сильные деформации; зависимость динамических характеристик от окружающей температуры; изменение характеристик в ходе эксплуатации. Данные виброизоляторы применяются для защиты от вибраций в диапазоне частот до 500 Гц и непригодны для защиты от ударов, имеющих большую амплитуду и длительность импульса [1].

Пружинные виброизоляторы с фрикционным демпфированием предназначены для защиты от воздействия гармонической вибрации. Их основными недостатками являются: наличие критической амплитуды возбуждения, при превышении которой быстро возникает резонанс; виброизоляция резко ухудшается при увеличении частоты воздействия [1].

Демпфирование колебаний с помощью цельнометаллических виброизоляторов достигается за счет трения в деталях виброisolатора или элементов структуры, например, в тросиках, или в деталях из плетеной проволоки, демпфирующие свойства которых подобны вязкому демпфированию [1].

При рациональном размещении и выборе параметров виброизоляторов можно избежать сложных пространственных колебаний блока и получить более простые однонаправленные или плоские колебания. Тем самым упрощается расчёт колебаний блока и облегчается задача его виброизоляции [2].

Решить данную задачу можно, проведя всесторонний анализ динамических характеристик блока на

виброизоляторах путём математического моделирования и оптимального выбора параметров виброизоляторов, их количества и координат расположения используя параметрическую или структурную оптимизацию.

При расчете блока на виброизоляторах последний рассматривается как абсолютно твердое тело, установленное на упругих связях, соединяющих блок с основанием. Данная система имеет 6 степеней свободы, соответственно, смещения  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  центра масс  $O$  вдоль осей координат  $X, Y, Z$  и углы поворота  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  относительно этих осей [3].

На рисунке 1 представлена расчетная модель конструкции РЭС на виброизоляторах [3]:

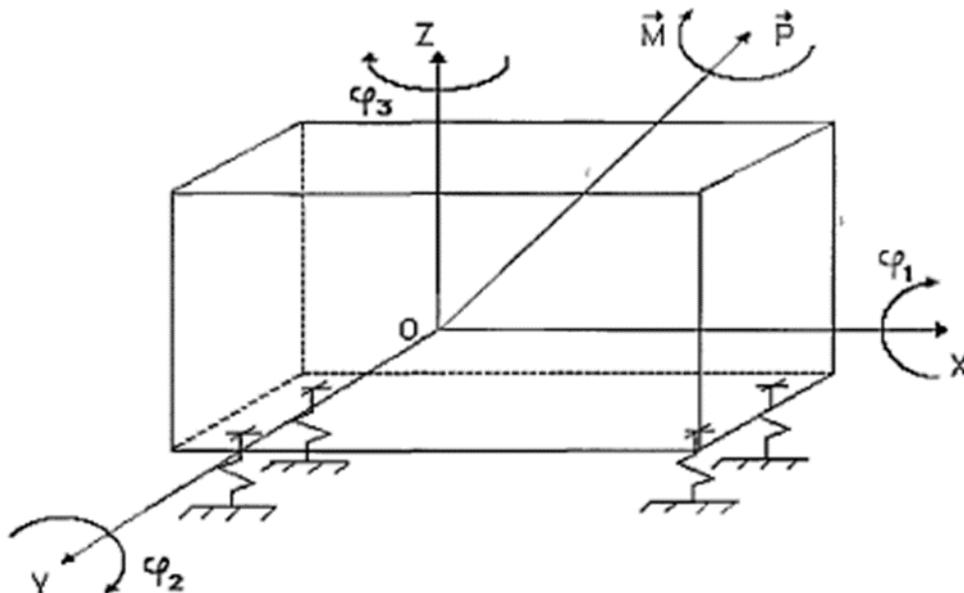


Рисунок 1 - Расчетная модель конструкции РЭС на виброизоляторах [3]

При составлении уравнений вынужденных колебаний блока как системы с шестью степенями свободы необходимо учесть возмущающие силы, а также силы неупругого сопротивления и возможное влияние на механические процессы теплового фактора. В общем случае, действующие на блок возмущающие силы могут обладать произвольной величиной и направлением. Приведем эти силы к центру масс системы, получим равнодействующие главные вектор перемещений  $P$  и главный вектор момента  $M$  [3].

Характер сил трения определяется типом конструкции виброизоляторов. При этом, в общем случае, коэффициенты механических потерь (КМП) материала конструкции виброизолятора при смещениях в разных направлениях могут несколько отличаться друг от друга, что необходимо учитывать. Кроме того, значение коэффициента механических потерь не является в большинстве случаев величиной постоянной, а зависит от механического напряжения и температуры [3].

Движение системы можно описать использовать при помощи уравнений Лагранжа. Для системы с шестью степенями свободы они могут быть записаны в следующем виде [4]:

$$d \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i(t), i = 1, \dots, 6, \quad (1)$$

где  $q_i$  –  $i$ -я обобщенная координата;  $\dot{q}_i$  –  $i$ -я обобщенная скорость,  $T$  – кинетическая энергия системы;  $\Pi$  – потенциальная энергия системы;  $Q_i$  – обобщенная сила, действующая по направлению  $z$ -й обобщенной координаты.

#### Список использованных источников:

- [1] Каленкович, Н.И. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств : Учебн пособие для вузов / Н. И. Каленкович, Е. П. Фастовец, Ю. В. Шамгин. – Минск. : Выш. шк., 1989. – 244 с.
- [2] Кофанов, Ю.Н. Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях / Ю.Н. Кофанов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2000. – 226 с.
- [3] Шалумов А.С. Модели для расчета коэффициентов механических потерь в конструкциях радиоэлектронных средств, // «Системные проблемы надежности, математического моделирования и информационных технологий»: Тез. докл./ Международная научно-техническая конференция. – 4:1. – М.; Сочи, 1998. - С.7-9.
- [4] Сервисен, С.В. Прочность при нестационарных режимах нагружения / С. В. Сервисен С.В. [и др.]. – Киев : изд-во АН УССР, 1961. - 295с.