

УДК 62.752

Б.А. Миркин<sup>1</sup>, Р.А. Денисов<sup>2</sup>**АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ  
ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ**

Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного  
технического университета им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ОАО Арзамасский приборостроительный завод им. П.И. Пландина<sup>2</sup>

**Цель:** Исследование амплитудно-частотных характеристик виброизоляторов с резиновыми эластичными элементами, взаимосвязь которых между коэффициентом динамичности и динамической жесткостью априори неизвестна.

**Методика:** амплитудно-частотные характеристики определялись на электродинамическом вибрационном стенде с программно-управляющим комплексом "SANTECH". Исследования проводились в интервале частот от 20 до 2000 Гц. Амплитуда вибрационного ускорения на столе стенда выдерживалась на уровне 2g.

**Результаты и область их применения:** Выявлен характер зависимости коэффициента динамичности от жесткости виброизоляторов. Полученные закономерности могут быть использованы при проектировании малогабаритных инерциально-измерительных систем, построенных на микроэлектромеханических датчиках.

**Выводы:** При увеличении динамической жесткости виброизоляторов коэффициент динамичности увеличивается нелинейно. В интервале жесткости от  $(100 \text{ до } 300) \times 10^4 \text{ Н/м}$  значение коэффициента динамичности увеличивается плавно, в пределах 5%. При жесткости более  $300 \times 10^4 \text{ Н/м}$  происходит резкий скачок величины коэффициента динамичности более чем на 25%.

В диапазоне рабочих температур коэффициент динамичности изменяется в пределах 10% от своего исходного значения при нормальной температуре.

*Ключевые слова:* виброизолятор, амплитудно-частотные характеристики, коэффициент динамичности, динамическая жесткость.

**Введение**

При проектировании новых изделий логично стремление сократить сроки и материальные затраты. Учитывая существенный прогресс в развитии вычислительных средств и алгоритмов обработки информации, логично тенденция уменьшения затрат выражается в замене части работ по изготовлению и испытанию макетных образцов математическим моделированием. Однако нередко возникает искушение полностью отказаться от натурального макетирования и после исследования математических моделей, сразу переходить к изготовлению опытных образцов. Тем не менее, практика всегда заметно отличается от любой теоретической модели, поскольку априори всех «мелочей» предусмотреть невозможно.

Характерным примером того, что моделирование обязательно должно сопровождаться изучением реальных объектов, являются представленные далее результаты исследования виброизоляторов блока чувствительных элементов, содержащего гироскопические датчики угловой ориентации и микроэлектромеханические датчики линейных ускорений (МЭМС акселерометры).

Виброизоляция предназначена для снижения влияния кинематических возмущений объекта на узлы подвеса инерционных масс чувствительных элементов. Виброизолятор уменьшает динамические нагрузки на объект, но при этом возникают различные дополнительные явления, связанные с

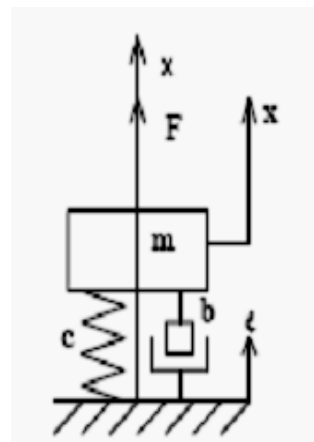


Рис. 1

увеличением статических смещений объекта или ростом амплитуд колебаний на определенных частотах.

Традиционной моделью такой упруго-массовой системы, изображенной на рис. 1, является [1] дифференциальное уравнение второго порядка

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = f(t),$$

где  $x$  – деформация;  $m$  – масса нагрузки;  $b$  – коэффициент демпфирования;  $c$  – жесткость;  $f(t)$  – внешняя возмущающая сила.

Одной из проблем проектирования подобных устройств является то, что такое важнейшее свойство виброизолятора, как способность рассеивать энергию движения основания, зависит от множества факторов, инструментальный контроль которых крайне затруднителен, а порой – просто невозможен (например, величин люфтов между элементами крепления, размерами и вязкостью эластичных вкладышей, степенью их начальной деформации и т.п.). Поэтому взаимосвязь между конструктивными размерами, массой и параметрами амплитудно-частотных характеристик конкретных виброизоляторов априори неизвестна [2] и требует специальных исследований.

### Объект исследований

Конструктивно рассмотренные виброизоляторы представляют собой набор вкладышей, выполненных из резиновой смеси, которые расположены в двух уровнях (верхнем и нижнем) по углам платформы с чувствительными элементами. Схематично их устройство и расположение показаны на рис. 2.

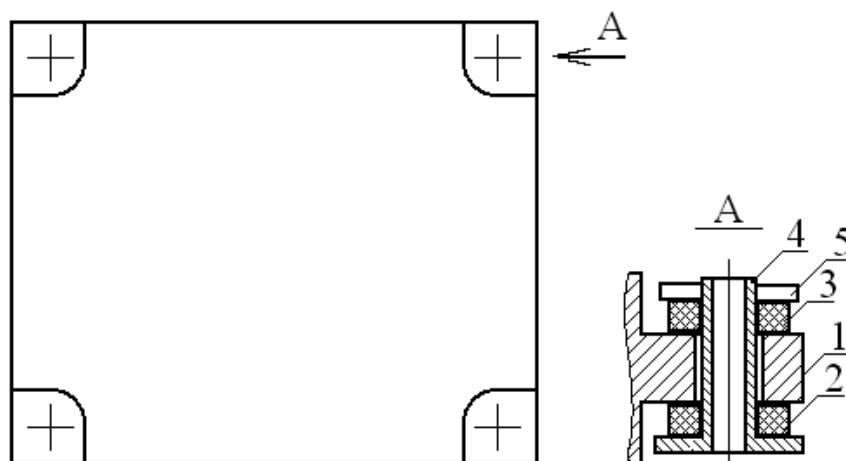


Рис. 2

Корпус 1 платформы изолирован от основания через вкладыши 2 и 3, которые зажаты между стойкой 4 и корпусом с одной стороны, корпусом и гайкой 5 – с другой. Нижняя поверхность стоек 4 опирается на неподвижное основание. С целью обеспечения требований к амплитудно-частотным характеристикам, указанным в конструкторской документации, в верхней части каждой стойки имеется гладкий участок без резьбы, позволяющий устанавливать шайбы различной толщины (в связи с выбранным масштабом не показанные на рисунке) для регулировки начального усилия сжатия вкладышей.

### Методика исследований

Амплитудно-частотные характеристики снимались на вибрационном стенде ВЭДС-1200 по единой методике: на столе вибростенда задавалось виброускорение 2g в диапазоне частот от 20 до 2000 Гц, второй вибродатчик устанавливался вблизи вертикали, проходящей через центр масс испытываемого образца.

Регистрация показаний и построение виброграмм выполнялись на автоматизированном рабочем месте «САНТЕК». Сами виброграммы имеют вид, представленный на рис. 2 (масштаб по горизонтали – логарифмический, по вертикали – линейный).

Для каждого из полученных графиков определены резонансные частоты, коэффициенты динамичности – отношение виброперегрузок на испытываемой платформе и на столе вибростенда, динамическая жесткость  $C = 4\pi^2 f^2 m$  на резонансной частоте [3].

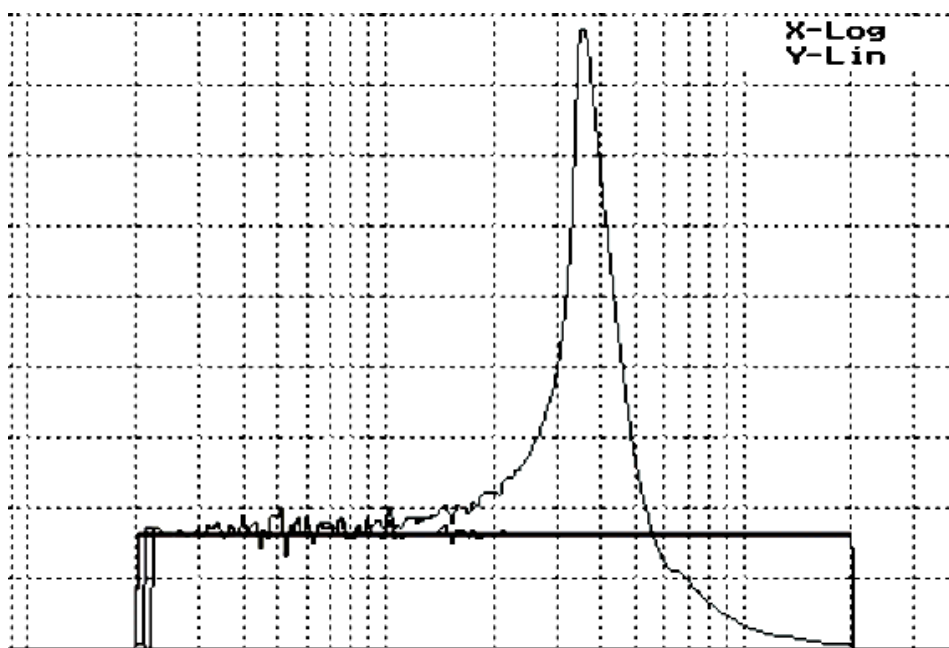


Рис. 3

Следует отметить, что одновременное обеспечение заданной резонансной частоты, степени ослабления колебаний на границе полосы заграждения и минимального коэффициента ослабления, характеризующего относительную высоту резонансного пика, представляют собой весьма противоречивую задачу. Это обусловлено тем, что изменение каждого из параметров влияет и на все остальные, причем ни характер, ни степень такого влияния для конкретной конструкции неизвестны.

### Материалы исследований

В табл. 1 представлены характеристики виброизоляторов, полученные в процессе их регулировки и проверки.

Таблица 1

Номер образца	Резонансная частота $f_0$ , Гц	Коэффициент динамичности $k$	Динамическая жесткость $C$ , $10^4$ Н/м	Примечание
1	2	3	4	5
1	317	3,9	285	по оси X, НКУ
2	323	3,8	296	по оси X, НКУ
3	275	4,8	215	по оси X, +65 °С
4	275	4,6	215	по оси X, +65 °С
5	279	4,7	221	по оси Z, +65 °С
6	227	3,4	146	по оси X, -55 °С
7	219	2,4	136	по оси Z, -55 °С
8	307	4,3	268	по оси X, НКУ после термоцикла

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
8	290	4,0	239	по оси Z, НКУ после термоцикла
9	350	5,5	362	НКУ, по оси X
10	305	4,8	275	НКУ, по оси X
11	357	5,6	339	НКУ перед +Т*
11	323	5,5	278	Через 15 мин после +Т*
12	351	5,3	328	НКУ после +Т*
13	310	4,9	280	НКУ после +Т*
14	327	5,7	316	НКУ после +Т*
16	270	4,2	234	НКУ
17	276	4,6	245	НКУ
18	194**	4,5	101	НКУ
18	225**	4,6	136	НКУ, по оси Y
19	213***	4,4	133	НКУ
20	229***	4,5	153	НКУ
21	299***	4,4	261	НКУ
21	295***	5,2	254	НКУ, по оси Y
22	286	4,0	239	НКУ по оси X
23	212	3,8	131	НКУ, по оси X
23	207	4,1	125	НКУ, по оси Y
23	207	3,2	125	НКУ, по оси Z
24	219	3,7	140	НКУ, по оси X
25	259	3,9	196	НКУ, по оси X
26	341	3,5	339	по оси X
27	320	4,0	299	по оси X
28	271	3,3	214	по оси X
29	293	4,0	256	по оси X

Примечание. \* – +Т-воздействие повышенной температуры; \*\* – с массой нагрузки 680 г, \*\*\* – с массой нагрузки 740 г.

Из представленных результатов видно, что резонансная частота виброизоляторов зафиксирована в диапазоне от 194 до 350 Гц, динамическая жесткость – от  $101 \times 10^4$  до  $362 \times 10^4$  Н/м (в среднем  $228 \times 10^4$  Н/м), при этом коэффициент динамичности виброизоляторов отмечен в пределах от 2,4 до 5,7 (в среднем – 4,5),

Основные параметры амплитудно-частотных характеристик при изменении рабочей температуры для одного из образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Условия	Резонансная частота $f_0$ , Гц	Полоса пропускания $\Delta f$ , Гц	Добротность $Q$	Коэффициент динамичности $k$
1	2	3	4	5
По оси X				
НКУ	317	112	2,8	3,89
+65°C	275	60	4,6	4,85
минус 55°C	227	70	3,2	3,46
НКУ	289	102	2,8	3,75
+65°C	279	78	3,6	4,62
минус 55°C	219	45	4,9	2,30
НКУ после ±Т	290	97	3,0	4,01
НКУ после ±Т	307	90	3,4	4,28

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
По оси Z				
НКУ	289	102	2,8	3,75
+65°C	279	78	3,6	4,62
минус 55°C	219	45	4,9	2,30
НКУ после ±T	290	97	3,0	4,01

*Примечание.* Полоса пропускания  $\Delta f$  рассчитана как ширина амплитудно-частотной характеристики на уровне половинной мощности, добротность  $Q$  – как отношение резонансной частоты  $f_0$  к ширине полосы пропускания  $\Delta f$ , коэффициент динамичности – как отношение ускорения на испытываемой платформе к ускорению на столе вибростенда.

При воздействии вибрации по обеим осям максимальное значение резонансной частоты зафиксировано в нормальных условиях, а коэффициента динамичности – при повышенной температуре. Наибольшее изменение характеристик отмечено при воздействии на блок датчиков пониженной температуры (снижение резонансной частоты на 28... 32%; коэффициента динамичности – на 11% по оси X и на 63% по оси Z).

После температурных воздействий значение резонансной частоты практически восстановилось, а коэффициент динамичности увеличился на 7...10%, добротность несколько возросла (на 20% по оси X, на 7% по оси Z).

На рис. 4 приведена диаграмма взаимосвязи коэффициента динамичности и динамической жесткости. С целью выявления тенденции изменения экспериментальные результаты были разделены по величине жесткости на пять интервалов через  $50 \cdot 10^4$  Н/м.

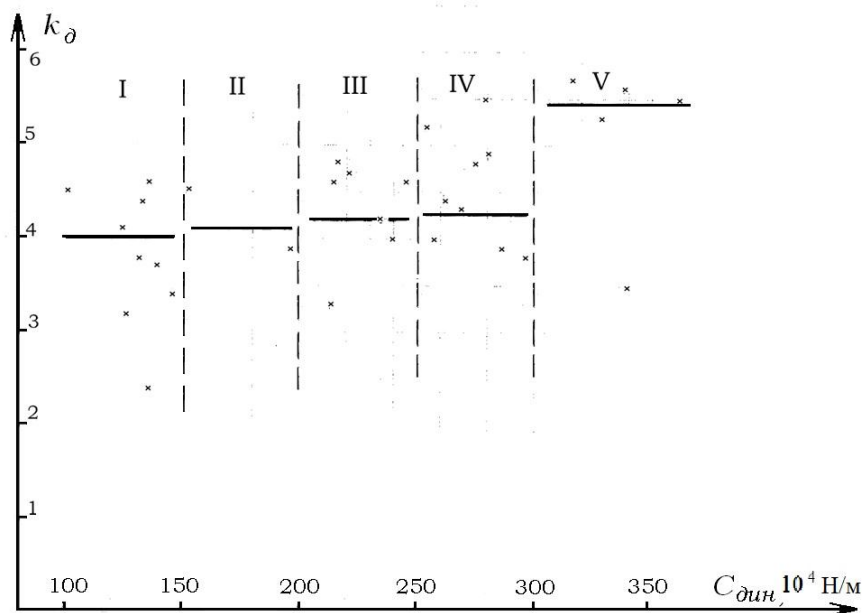


Рис. 4

### Выводы

По результатам анализа амплитудно-частотных характеристик обнаружена взаимная связь между коэффициентом динамичности виброизоляторов с резиновыми эластичными элементами и коэффициентом их динамической жесткости.

С увеличением динамической жесткости коэффициент динамичности возрастает, причем зависимость коэффициента динамичности от динамической жесткости является нелинейной.

В диапазоне значений жесткости от  $(100 \text{ до } 300) \times 10^4$  Н/м в интервалах с I по IV средние значения коэффициента динамичности возрастают сравнительно плавно, в пределах 5 %.

В V интервале при жесткости более  $300 \times 10^4$  Н/м отмечен существенный скачок среднего значения коэффициента динамичности – более 25 %.

В диапазоне рабочих температур коэффициент динамичности изменяется в пределах 10% относительно его исходного значения в нормальных условиях.

#### Библиографический список

1. Вибрации в технике. Колебания линейных систем: справочник. Т. 1 / под ред. В.В. Болотина. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Ильинский, В.С. Защита аппаратов от динамических воздействий / В.С. Ильинский. – М.: Энергия, 1970.
3. Пановко, Г.Я. Теория механических колебаний / Г.Я. Пановко. – М.: Наука, 1981.

Дата поступления  
в редакцию 16.06.2015

B. Mirkin<sup>1</sup>, R. Denisov<sup>2</sup>

#### ANALYSIS OF DEPENDENCE OF VIBROINSULATORS DYNAMIC QUALITY COEFFICIENT AND THEIR DYNAMIC INFLEXIBILITY

Arzamas polytechnic institute (branch)

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev<sup>1</sup>,

Open Joint Stock Company “Arzamas instrument plant n. a. P. I. Plandin”<sup>2</sup>

**Purpose:** Research of rubber elastic elements based vibroinsulators gain-frequency characteristics. Dependence of concrete vibroinsulators dynamic quality coefficient and their dynamic inflexibility to experience is unknown.

**Methodology/approach:** gain-frequency characteristics were certain on an electrodynamic oscillation stand with a programmatic-managing complex “SANTECH”. Researches are executed in the frequency interval (20...2000) Hz. On the table of oscillation stand the vibroacceleration of 2g was set.

**Results and their application domain:** Character of dependence of coefficient of dynamic quality is certain from inflexibility of vibroinsulators. Can be drawn on the got results at planning of vibroinsulators for the small inertial-measuring systems built on the basis of mikroelektromechanical sensors.

**Conclusions:** With the increase of dynamic inflexibility the coefficient of dynamic quality increases, thus dependence of coefficient of dynamic quality on dynamic inflexibility is nonlinear.

In the range of values of inflexibility from  $(100 \text{ to } 300) \times 10^4$  N/m the mean values of coefficient of dynamic quality increase comparatively fluently, within the limits of 5 %.

At inflexibility more than  $300 \times 10^4$  N/m is marked substantial jump of mean value of coefficient of dynamic quality – more than 25 %.

In the range of workings temperatures the coefficient of dynamic quality changes within the limits of 10% in relation to his initial value in normal terms.

*Key words:* vibroinsulator, gain-frequency characteristics, coefficient of dynamic quality, dynamic inflexibility.