

УДК 62-752

В.А. Волковский, Г.Б. Левин, Л.И. Сулейманова

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕЙСМОУДАРОЗАЩИТНЫХ ПЛАТФОРМ

Волковский Виктор Алексеевич, окончил радиотехнический факультет Одесского политехнического института, главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи и патенты в области конструирования радиоэлектронной аппаратуры. [e-mail: mars@mv.ru].

Левин Геннадий Борисович, окончил Ульяновский государственный технический университет. Заместитель главного конструктора ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи в области электроники, комплексов средств автоматизации специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

Сулейманова Лилия Ирфановна, кандидат технических наук, окончила энергетический факультет Ульяновского государственного технического университета. Ведущий инженер-конструктор ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи и изобретения в области измерительных преобразователей больших постоянных токов. [e-mail: suleimanova.lili@mail.ru].

Аннотация

Выведена формула для расчета прогиба виброизоляторов сейсмоударозащитных платформ (СУЗП). Приведены графики и таблица для быстрой оценки эффективности платформ.

Ключевые слова: сейсмоудар, сейсмоударозащитная платформа, прогиб.

Viktor Alexeevich Volkovsky, graduated from the Faculty of Radio-Engineering at Odessa Polytechnic Institute; chief specialist at FRPC OJSC 'RPA 'Mars'; author of articles and patents in the field of design of radio-engineering equipment. e-mail: mars@mv.ru.

Gennady Borisovich Levin, graduated from Ulyanovsk State Technical University; deputy chief designer at FRPC OJSC 'RPA 'Mars'; author of articles in the field of electronics, specialpurpose computer-aided packages. e-mail: mars@mv.ru.

Liliya Irfanovna Suleymanova, Candidate of Engineering, graduated from the Faculty of Power at Ulyanovsk State Technical University; leading designer at FRPC OJSC 'RPA 'Mars'; author of articles and inventions in the field of dc measuring converters. e-mail: suleimanova.lili@mail.ru.

Abstract

The article suggests a formula deduced for the calculation of a deflection of vibration-isolators for seismic-shock protective platforms. It also cites diagrams and tables for quick estimating of platform effectiveness.

Key words: seismic shock, seismic-shock protective platform, deflection.

К некоторым видам радиоэлектронных приборов предъявляются требования по устойчивости и прочности к одиночным ударам, вызываемым сейсмическими воздействиями с большой длительностью полуволн [1].

Сейсмические воздействия (сейсмоудары) имеют не менее двух полуволн, положительную и отрицательную, с формой, близкой к треугольной или синусоидальной [2]:

$$a = A \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

где A – амплитуда ускорения,

ω – угловая частота колебаний,

t – текущее время.

В процессе воздействия сейсмоудара происходит смещение фундамента, на котором установлен прибор с сейсмоударозащитной платформой. Смещение описывается уравнением [3]:

$$S = \frac{A}{\omega} t - \frac{A}{\omega^2} \sin \omega t. \quad (2)$$

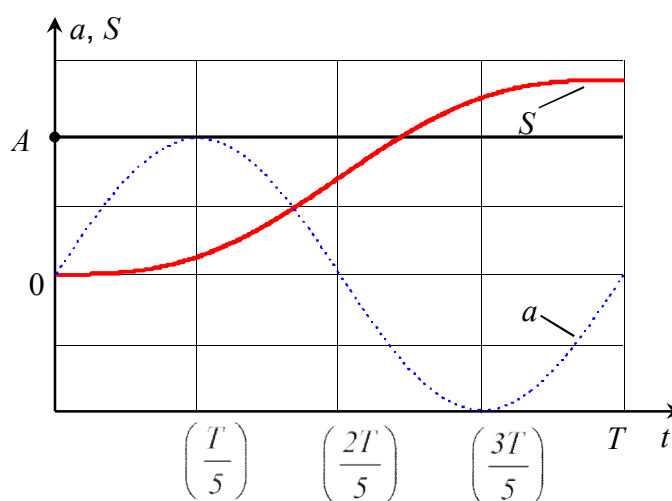


Рис. 1. Графики изменения ускорения и смещения в зависимости от времени

Графики изменения ускорения и смещения в зависимости от времени представлены на рисунке 1, где T – период колебаний.

Схема подвески прибора с платформой на фундаменте представлена на рисунке 2.

Из графика на рисунке 1 видно, что смещение происходит не по синусоидальному закону, а является поступательным и за один период воздействия может достигнуть таких значений, при которых выбирается свободный ход виброизоляторов СУЗП. При этом происходит жесткое соударение прибора и фундамента и разрушение прибора.

Смещение фундамента вызывает прогиб виброизоляторов d и действие восстанавливающей силы [4]:

$$F_6 = c \cdot d, \tag{3}$$

где c – жесткость платформы.

Под действием силы F_6 виброизоляторы разжимаются, и поэтому прогиб всегда будет меньше смещения фундамента. Из рисунка 2 видно, что

$$d = S - S', \tag{4}$$

где S' – смещение прибора под действием восстанавливающей силы.

Ускорение a_1 , которое передается на прибор через виброизоляторы, равно [4]:

$$a_1 = \frac{F_6}{m} = \frac{cd}{m} = \omega_1^2 d, \tag{5}$$

где m – масса прибора с платформой,

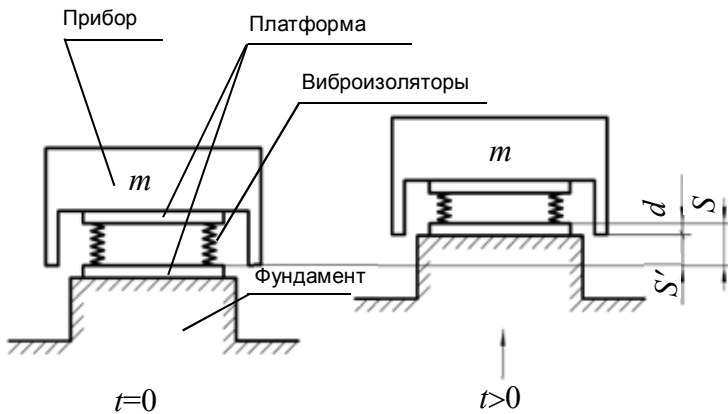


Рис. 2. Прибор с платформой на фундаменте

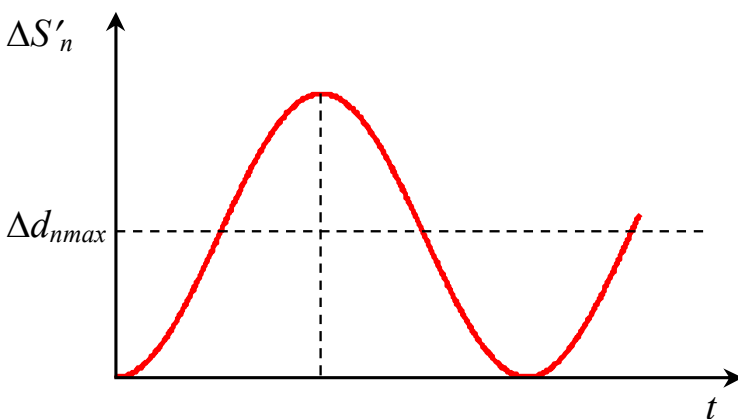


Рис. 3. Зависимость $\Delta S'_n$ от t

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{c}{m}} \text{ – угловая частота свободных колебаний}$$

прибора с платформой [4].

Цель расчета заключается в том, чтобы определить прогиб d , который должен быть не больше свободного хода h виброизоляторов

$$d < h, \tag{6}$$

и ускорение a_1 на приборе, которое должно быть не больше допустимого $[a_1]$

$$a_1 \leq [a_1]. \tag{7}$$

Расчет прогиба приведен без учета демпфирующих свойств виброизоляторов. Это допущение существенно не отражается на конечных результатах и приводит к некоторому завышению прогиба, и, как показывают расчеты [5], погрешность при этом не превышает 5–10%.

Свободный ход виброизоляторов должен быть определен с учетом статического прогиба под действием сил тяжести прибора с верхней плитой платформы.

Прогиб d является интегральной величиной и может быть определен как сумма приращений за равные промежутки времени $\Delta t = \frac{T}{N}$:

$$\Delta d = \Delta S - \Delta S', \tag{8}$$

$$d = \sum_1^N \Delta d = \sum_1^N (\Delta S - \Delta S'), \tag{9}$$

где N – количество приращений.

Уравнение движения прибора под действием восстанавливающей силы F_6 – это уравнение свободных колебаний прибора на виброизоляторах [4]:

$$\Delta S'_n = \Delta d_n \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_0), \tag{10}$$

где φ_0 – начальная фаза колебаний.

Поскольку прибор под действием восстанавливающей силы начинает двигаться из состояния покоя (нижней мертвой точки) с начальной фазой колебаний $\varphi_0 = -90^\circ$ (см. рис. 3), то уравнение (10) приобретет вид:

$$\begin{aligned} \Delta S'_n &= \Delta d_n - \Delta d_n \cdot \sin(\omega_1 t - 90^\circ) = \\ &= \Delta d_n (1 - \cos \omega_1 t). \end{aligned} \tag{11}$$

Время действия восстанавливающей силы, вызванной приращением Δd_n за период воздействия T сейсмодара, равно $T - n\Delta t$ (см. рис. 4), а смещение будет равно:

$$\Delta S'_n = \Delta d_n [1 - \cos \omega_1 (T - n\Delta t)]. \tag{12}$$

Из уравнений (8) и (12) получаем значение приращения прогиба в момент времени $n\Delta t$:

$$\begin{aligned} \Delta d_n &= \Delta S_n - \Delta S'_n = \\ &= \Delta S_n - \Delta d_n \cdot [1 - \cos \omega_l (T - n\Delta t)] = \\ &= \frac{\Delta S_n}{2 - \cos \omega_l (T - n\Delta t)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Интегральный характер прогиба d может быть проиллюстрирован графиком на рисунке 4 и формулами:

$$\begin{aligned} \Delta d_1 &= \frac{\Delta S_1}{2 - \cos \omega_l (T - \Delta t)} = \\ &= \frac{S_1 - 0}{2 - \cos \omega_l (T - \Delta t)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta d_2 &= \frac{\Delta S_2}{2 - \cos \omega_l (T - 2\Delta t)} = \\ &= \frac{S_2 - S_1}{2 - \cos \omega_l (T - 2\Delta t)} = \\ &= \frac{S(2\Delta t) - S(\Delta t)}{2 - \cos \omega_l (T - 2\Delta t)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta d_n &= \frac{\Delta S_n}{2 - \cos \omega_l (T - n\Delta t)} = \\ &= \frac{S_n - S_{n-1}}{2 - \cos \omega_l (T - n\Delta t)} = \\ &= \frac{S(n\Delta t) - S[(n-1)\Delta t]}{2 - \cos \omega_l (T - n\Delta t)}; \end{aligned}$$

$$d = \sum_{n=1}^N \frac{S(n\Delta t) - S[(n-1)\Delta t]}{2 - \cos \omega_l (T - n\Delta t)}. \quad (14)$$

Учитывая то, что $\Delta t = \frac{T}{N}$, получим:

$$d = \sum_{n=1}^N \frac{S\left(n \cdot \frac{T}{N}\right) - S\left[(n-1) \cdot \frac{T}{N}\right]}{2 - \cos \omega_l \left(T - n \cdot \frac{T}{N}\right)} \quad (15)$$

или в аналитической форме:

$$\begin{aligned} d &= \int_0^T \frac{dS}{2 - \cos \omega_l (T - t)} dt = \\ &= \frac{A}{\omega} \int_0^T \frac{1 - \cos \omega t}{2 - \cos \omega_l (T - t)} dt. \end{aligned} \quad (16)$$

График смещения S и графики изменения d в зависимости от t для различных соотношений $\gamma = \omega/\omega_l$ для $N = 1000$ приведены на рисунке 5. При $N > 1000$ график и числовые значения S и d практически не меняются.

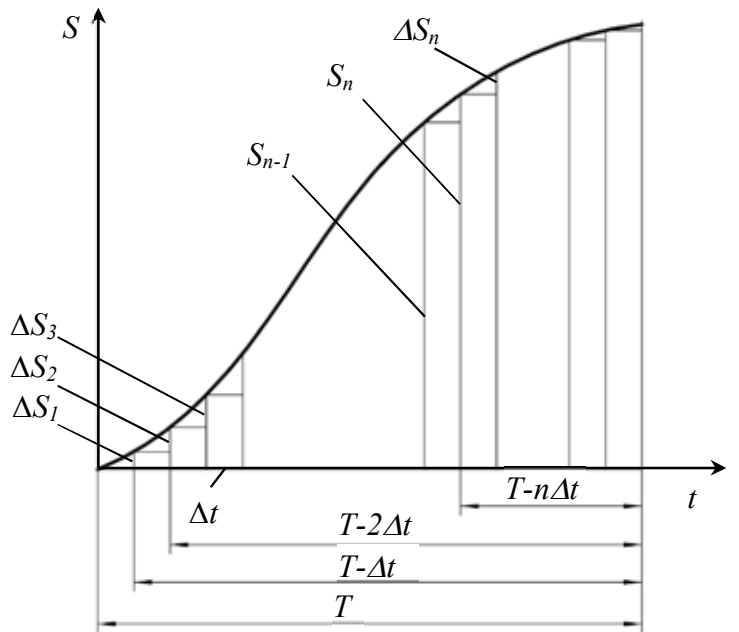


Рис. 4. Интегральный характер прогиба

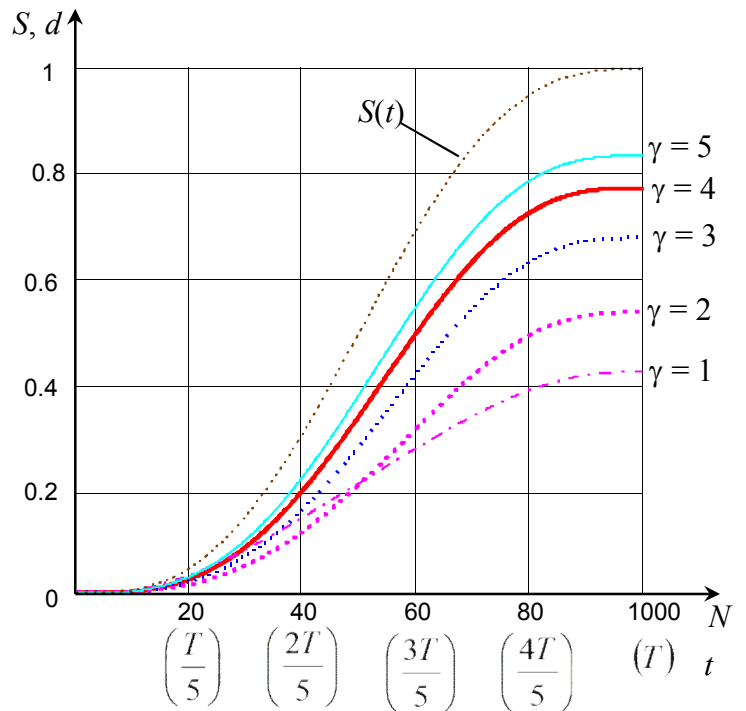


Рис. 5. График зависимости смещения и прогиба от времени

График a и графики зависимости ускорения a_l от t для различных соотношений $\gamma = \omega/\omega_l$ для $N = 1000$ приведены на рисунке 6.

Из рисунка 5 видно, что прогиб тем меньше, чем жестче виброизоляторы, т. е. они разжимаются быстрее. Из рисунка 6 видно, что чем жестче виброизоляторы, тем больше ускорение a_l , передаваемое ими на прибор.

Коэффициент амортизации сейсмоудара [3] $\eta = \frac{a_1}{A}$ определяет эффективность СУЗП.

В таблице приведены относительные значения прогиба d и ускорения a_1 для момента времени $t = T$.

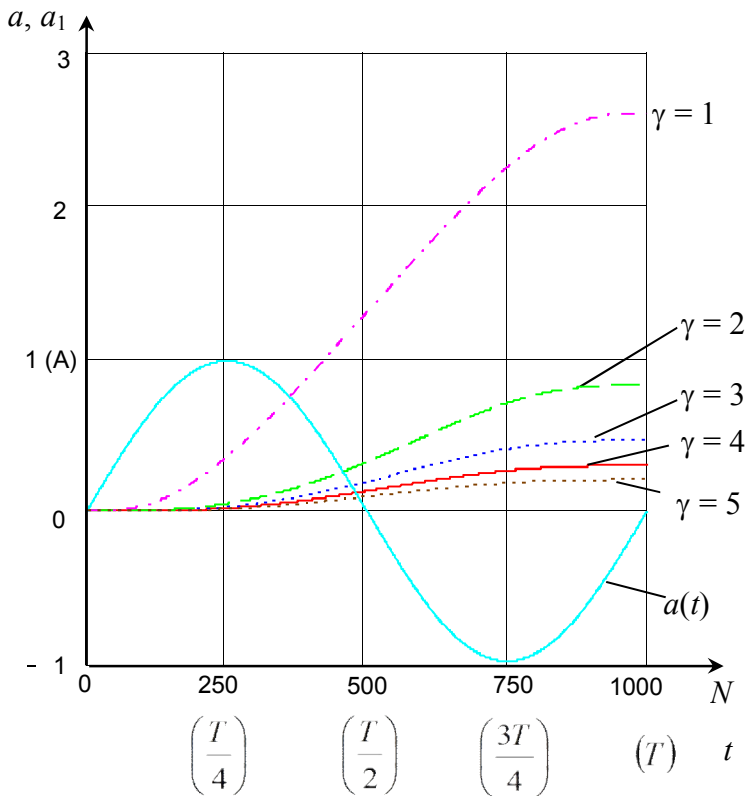


Таблица
Относительные значения прогиба d и ускорения a_1

$\gamma = \frac{\omega}{\omega_1}$	1	2	3	4	5
S	1	1	1	1	1
d	0,42	0,53	0,67	0,76	0,82
A	1	1	1	1	1
a_1	2,66	0,84	0,47	0,30	0,21
η	2,66	0,84	0,47	0,30	0,21

Таблица позволяет произвести быструю оценку эффективности сейсмоударозащитных платформ с достаточной для практики точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ РВ 20.39.304-98.
2. ГОСТ РВ 20.57.305-98.
3. Ильинский В.С. Защита аппаратов от динамических воздействий. – М. : Энергия, 1970.
4. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М. : Мир, 1982.
5. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г.С. Батуев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1969.

Рис. 6. График зависимости ускорения от времени