

Н. М. БОБКОВ

Лекции по общему конструированию РЭС

Раздел 3 Внешние воздействующие факторы

Лекция 3.3 УДАРЫ. ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРЕНИЯ

1 Сокращения

ВВФ – внешний воздействующий фактор

МЭК – Международная электротехническая комиссия

РЭС – радиоэлектронное средство

T-система – техническая система

2 Удары

Одним из наиболее распространенных ВВФ, которому в большей или меньшей степени подвергаются все РЭС, является механический удар. Даже РЭС, эксплуатируемые в легких с точки зрения воздействия механических ВВФ условиях, подвергаются воздействию ударов во время транспортирования от изготовителя к потребителю.

D1 механический удар: Кратковременное механическое взаимодействие твердых тел при их столкновении между собой и сопутствующие этому процессу явления [1].

Механический удар вызывает ударное движение РЭС.

D2 ударное движение: Движение, возникшее в результате однократного взаимодействия тела (среды) с рассматриваемой системой, при условии, что наименьший период свободных колебаний системы соизмерим или больше времени взаимодействия [2].

Ударное движение – переменное. Ускорение при ударном движении также переменное.

D3 ударный импульс: Изменение ускорения во времени, вызываемое ударом [3].

Основные параметры ударного импульса: форма ударного импульса – закон изменения ускорения во времени, пиковое ударное ускорение ($a_{yп}$) и длительность действия ударного ускорения (τ).

Для испытаний t -систем на стойкость к воздействию ударов существуют специальные ударные стенды, которые воспроизводят ударные импульсы трех типовых форм (рисунок 1, а – в). При испытаниях РЭС чаще всего используется ударный импульс полусинусоидальной формы. На рисунке 1, з штриховыми линиями показаны границы, в пределах которых должна выдерживаться форма полусинусоидального импульса на испытаниях. Аналогичные границы установлены и для других форм импульсов [4].

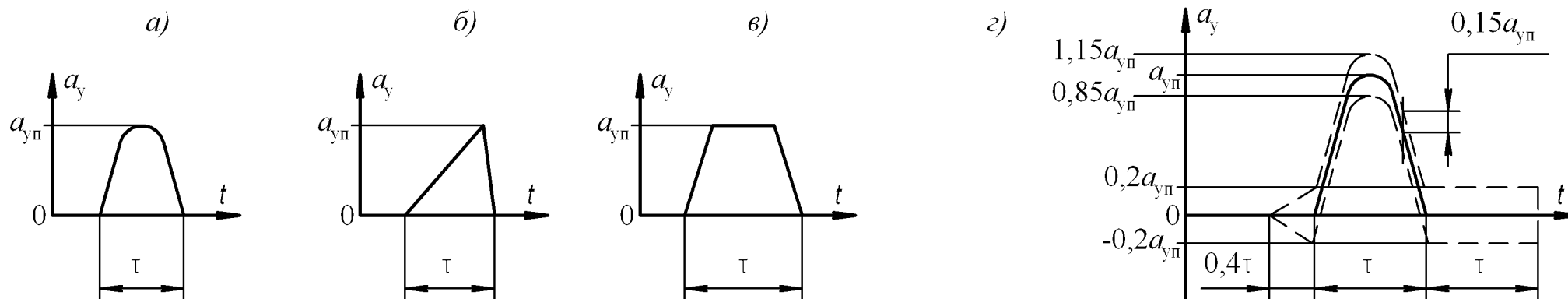


Рисунок 1 – Типовые формы ударных импульсов:
 а) полусинусоидальная, б) треугольная, в) трапецеидальная,
 г) допуски на форму полусинусоидального импульса

D4 пиковое ударное ускорение: Наибольшее абсолютное ударное ускорение [2].

D4 длительность действия ударного ускорения: Интервал времени от момента появления до момента исчезновения ударного ускорения [2].

Ударные ускорения сопровождают силы инерции, деформирующие конструктивные элементы РЭС и вызывающие в них механические напряжения, которые могут служить причиной разрушения этих элементов.

Результат воздействия удара на механическую колебательную систему, состоящую из тела массой M (далее – тела M) и упругого элемента, (рисунок 2, а) зависит от относительной длительности τ^* импульса ударного ускорения, которая определяется по формуле

$$\tau^* = \frac{\tau}{T_0} = f_0 \tau, \quad (1)$$

где $T_0 = 1/f_0$ – период свободных колебаний колебательной системы;
 f_0 – собственная частота колебательной системы.

В зависимости от относительной длительности импульса различают три основных режима воздействия удара на механическую колебательную систему: баллистический, квазирезонансный и квазистатический [3, 5].

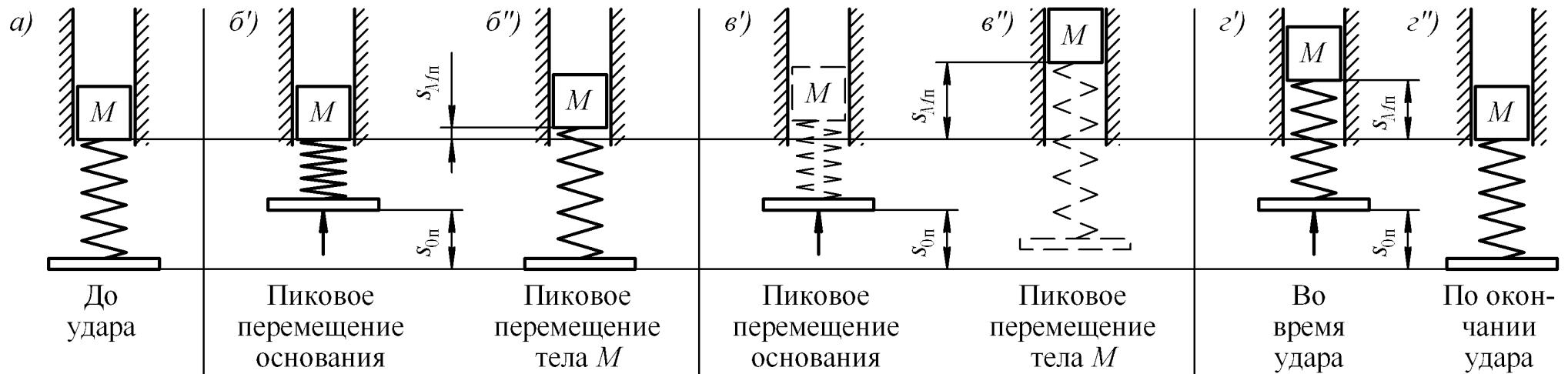
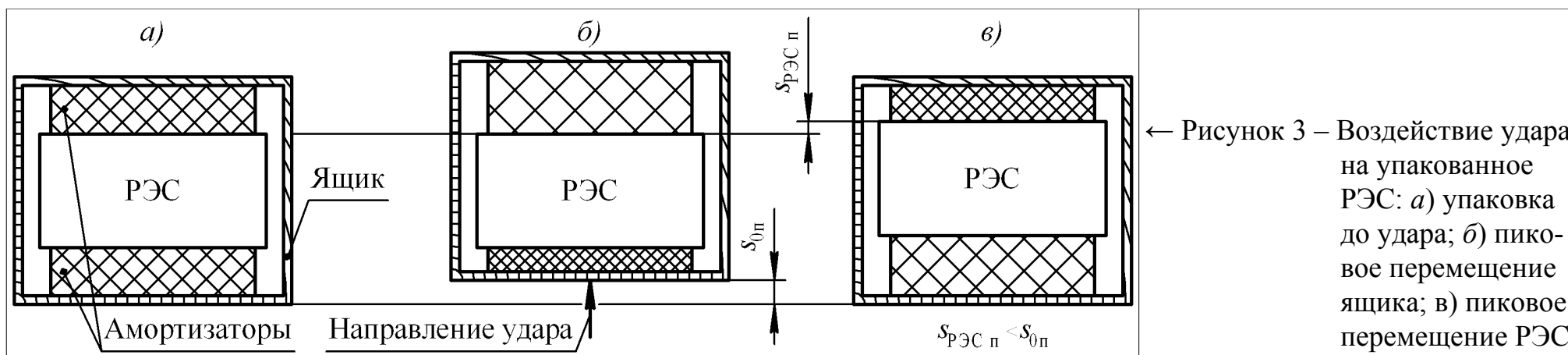


Рисунок 2 – Перемещения при различных режимах удара: а) до удара; б) при баллистическом ударе ($s_{Mп} < s_{0п}$); в) при квазирезонансном ударе ($s_{Mп} > s_{0п}$); з) при квазистатическом ударе ($s_{Mп} \approx s_{0п}$)

Баллистический режим наблюдается, когда $\tau^* \ll 1$ (для импульса полусинусоидальной формы при $\tau^* < 0,25$). В этом случае пиковое перемещение $s_{Mп}$ (рисунок 2, б'') и пиковое ускорение тела M меньше пикового перемещения $s_{0п}$ (рисунок 2, б') и пикового ускорения основания. Происходит ослабление удара. В пределе при $\tau^* \rightarrow 0$ перемещение и ускорение тела M равно нулю, т. е. имеет место полная изоляция удара.

Баллистический режим удара необходимо обеспечивать, например, при проектировании упаковки, если она должна обеспечивать защиту от ударов (рисунок 3). Жесткость амортизаторов должна быть такой, чтобы период свободных колеба-

ний системы защищаемое изделие (например, РЭС) – амортизатор был значительно больше, чем длительность ударного импульса.



При значении относительной длительности импульса близкой к единице ($0,25 < \tau^* < \tau_1^*$) наблюдается квазирезонансный режим. В этом случае пиковое перемещение (рисунок 2, в'') и пиковое ускорение тела M превышают пиковое перемещение (рисунок 2, в') и пиковое ускорение основания, т. е. происходит усиление действия удара на тело M .

При $\tau^* > \tau_1^*$ режим удара квазистатический. В этом режиме тело M с основанием и упругим элементом перемещаются практически как одно твердое тело (рисунок 2, г). Пиковое перемещение и пиковое ускорение тела M примерно равны соответственно пиковому перемещению и пиковому ускорению основания.

Точного значения τ_1^* (границы между квазирезонансным и квазистатическим режимами не существует). Для полусинусоидального импульса МЭК рекомендует принимать $\tau_1^* = 10$. В практике испытаний принимают $\tau_1^* = 5$. Допускается принимать $\tau_1^* = 2$ [3].

Удар, как правило, вызывает вибрацию конструктивных элементов. По окончании удара (при $t > \tau$) движение тела M происходит по закону свободных затухающих колебаний (рисунок 4).

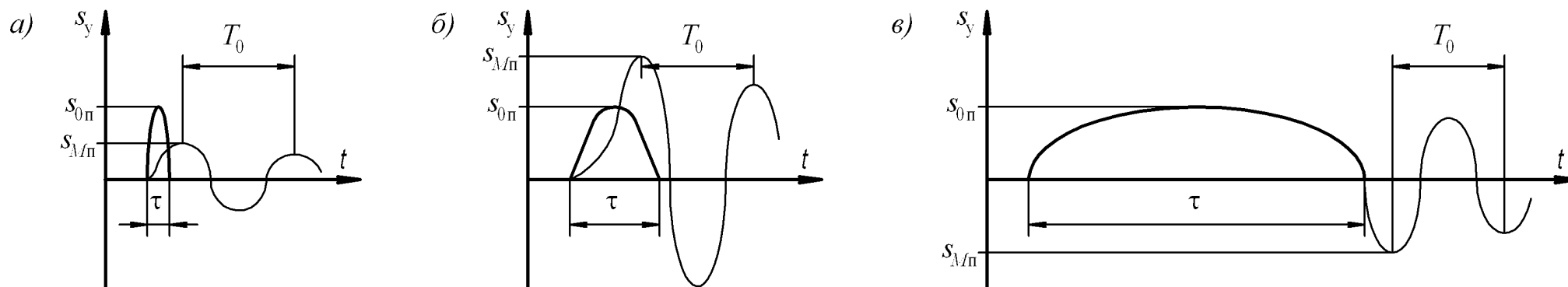


Рисунок 4 – Графики зависимости перемещений от времени основания (основная линия) и тела M (тонкая линия) при ударе: *а)* баллистический режим; *б)* квазирезонансный режим; *в)* квазистатический режим

Максимальная ударная нагрузка, действующая на несущую деталь при ударе в горизонтальном направлении (рисунок 5, *а)*), определяется по формуле

$$P_y = \mu_y m a_{0п}, \quad (2)$$

где P_y – максимальная ударная нагрузка, Н;

μ_y – коэффициент динамичности при ударе;

$a_{0п}$ – пиковое ударное ускорение основания, м/с^2 ;

M – масса агрегата, размещенного на упругой несущей детали, кг.



Рисунок 5 – Нагрузка на несущую деталь при горизонтальном (*а)*) и вертикальном (*б)*) ударах.

1 – агрегат массой M ; *2* – несущая деталь; *3* – корпус

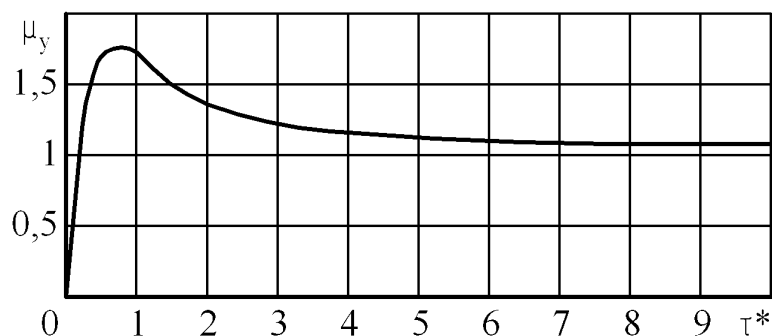
Максимальная ударная нагрузка, действующая на несущую деталь при ударе в вертикальном направлении (рисунок 5, б), определяется по формуле

$$P_{max} = P_y \pm gM, \quad (3)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка при ударе, Н.

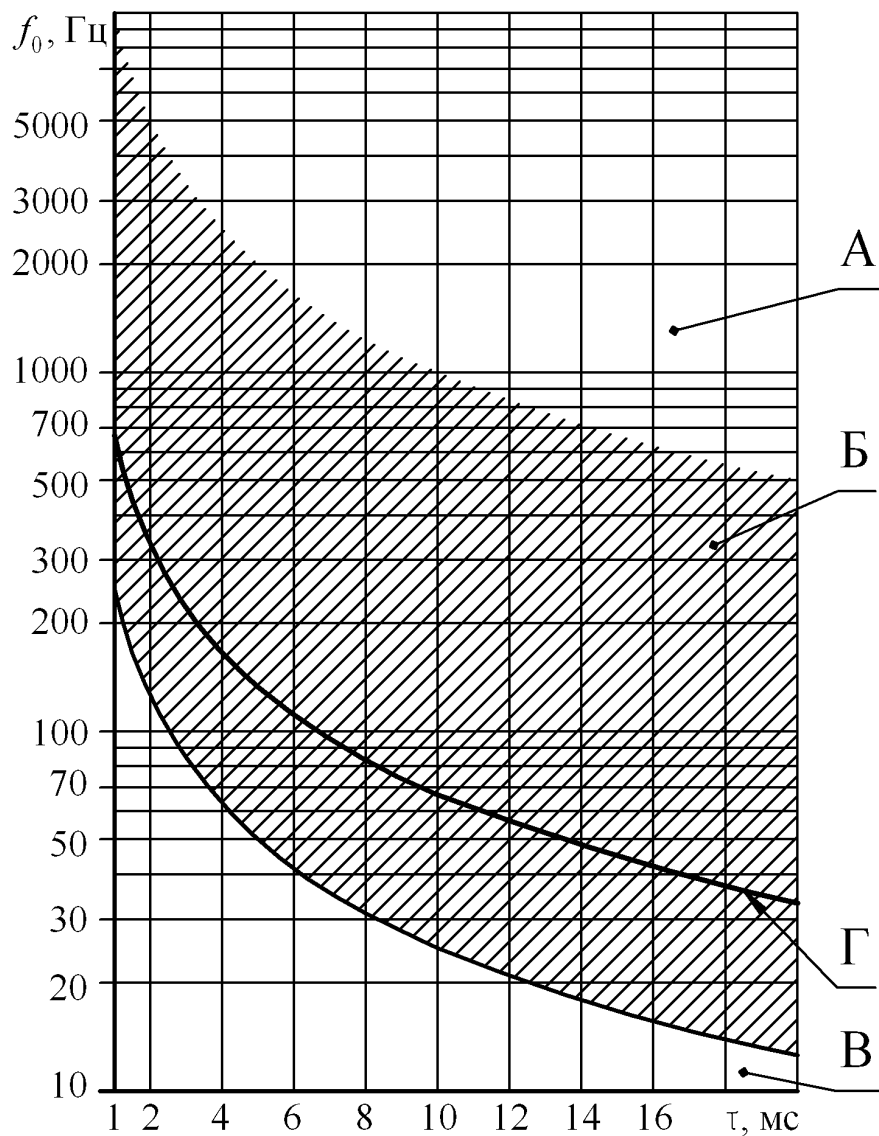
Знак «плюс» в формуле (3) берется, если силы инерции направлены вниз, знак «минус» – если вверх.

Коэффициент динамичности при ударе импульсом полусинусоидальной формы определяется по графику на рисунке 6 [6].



← Рисунок 6 – График зависимости коэффициента динамичности μ_y при ударе от относительной длительности ударного импульса τ^* полусинусоидальной формы

Соотношение между длительностью ударного импульса, собственной частотой колебаний механической колебательной системы и режимом удара при ударе импульсом полусинусоидальной формы показаны на рисунке 7.



← Рисунок 7 – Режимы удара импульсом полусинусоидальной формы: А – зона квазистатического режима; Б – зона квазирезонансного режима; В – зона баллистического режима; Г – кривая, соответствующая максимальному коэффициенту динамичности

В стандартах режим испытаний на прочность или устойчивость к воздействию одиночных ударов задается указанием пикового ударного ускорения и длительности ударного импульса. Об уровне ударных воздействий при одиночных ударах судят, прежде всего, по пиковому ударному ускорению (таблица 1) [7, 8].

Таблица 1

Уровень ударных воздействий	Максимальное пиковое ускорение
Без ударов	до $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (1 g)
Незначительный	свыше $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (1 g) « $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (4 g)
Малозначительный	« $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (4 g) « $70 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (7 g)
Заметный	« $70 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (7 g) « $100 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (10 g)
Высокий	« $100 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (10 g) « $400 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (40 g)
Очень высокий	« $400 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (40 g)

При анализе стойкости к воздействию многократных ударов следует принимать в расчет явление усталости материалов. В этом случае важным показателем ударного воздействия является число наносимых ударов.

3 Линейные ускорения

Линейное ускорение можно рассматривать как синусоидальный удар большой длительности. Нагрузка, действующая на несущую деталь при линейном ускорении, определяется по формуле [2] при $\mu_y = 1$

$$P = aM, \tag{4}$$

где P – нагрузка, действующая на несущую деталь, Н;

a – линейное ускорение, $\text{м}/\text{с}^2$;

M – масса агрегата, расположенного на несущей детали, кг.

Нагрузка считается приложенной к центру масс агрегата.

При линейном ускорении, действующем в вертикальном направлении, необходимо учитывать действие силы тяжести:

$$P_{max} = P \pm gM, \quad (5)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, действующая на несущую деталь, Н;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Знак «плюс» в формуле (5) берется, если силы инерции направлены вниз, знак «минус» – если вверх.

Список использованных источников

1 ГОСТ 26883 – 86 Внешние воздействующие факторы. Термины и определения.

2 ГОСТ 8.127 – 74 Государственная система обеспечения единства измерений. Изменение параметров ударного движения. Термины и определения.

3 Глудкин О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС: Учеб. для вузов. М., 1991.

4 ГОСТ Р 51371 – 99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов.

5 Пеллинец В. С. Измерение ударных ускорений. М., 1975.

6 Динамический расчет зданий и сооружений: Справочник проектировщика / Под ред. Б. Г. Коренева, Н. М. Рабиновича. М., 1984.

7 ГОСТ 30631 – 99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации.

8 ГОСТ 17516.1 – 90 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.

Николай Михайлович Бобков – преподаватель Нижегородского радиотехнического колледжа, конструктор Нижегородского научно-производственного имени М. В. Фрунзе.

E-mail: n.bobkov@mail.ru