

6 Внешние воздействующие факторы

Разработал Бобков Н. М.

Сокращения

ВВФ – внешний воздействующий фактор

РЭС – радиоэлектронное средство

СММ – справочно-методические материалы по общему конструированию РЭС

T-система – техническая система

6.1 Общие понятия

Д6.1 внешний воздействующий фактор: Явление, процесс или среда, внешние по отношению к *t*-системе или ее составным частям, характеризующиеся физическими величинами, которые вызывают или могут вызвать ограничение или потерю работоспособного состояния *t*-системы или переход ее в предельное состояние в процессе эксплуатации [6.1].

В зависимости от характера воздействия на *t*-систему все ВВФ делятся на классы: механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитных полей, специальных сред, термические [6.2] (рисунок 6.1).

К механическим ВВФ относятся случайная и синусоидальная вибрации, удар, шум, качка и др. Примеры климатических ВВФ – повышенная или пониженная температура среды, смена температуры среды, повышенные или пониженные влажность и давление среды, атмосферные осадки, морской туман, пыль, солнечное излучение, ветер. Биологические ВВФ – это бактерии, плесневые грибы, грызуны, рыбы и др. Примеры радиационных ВВФ – альфа-, бета-, гамма-излучения, рентгеновское излучение.

ВВФ специальных сред – масла, топливо, растворители, дегазирующие и дезактивирующие растворы, среды заполнения и т. д.

T-системы должны быть стойкими, устойчивыми и прочными к ВВФ в соответствии со своим назначением.

Д6.2 стойкость *t*-системы к ВВФ: Свойство *t*-системы сохранять работоспособное состояние во время и после воздействия на нее в течение всего срока службы определенного ВВФ с характеристиками, находящимися в пределах заданных значений.

Д6.3 устойчивость *t*-системы к ВВФ: Свойство *t*-системы сохранять работоспособное состояние во время действия на нее определенного ВВФ с характеристиками, находящимися в пределах заданных значений.

Д6.4 прочность *t*-системы к ВВФ: Свойство *t*-системы сохранять работоспособное состояние после воздействия на нее определенного ВВФ с характеристиками, находящимися в пределах заданных значений.

Номенклатура ВВФ, которым могут подвергаться *t*-системы в общем случае, и характеристики этих ВВФ, установлены стандартом [6.2]. Конкретные типы *t*-систем подвергаются не всем ВВФ из установленной стандартом номенклатуры.

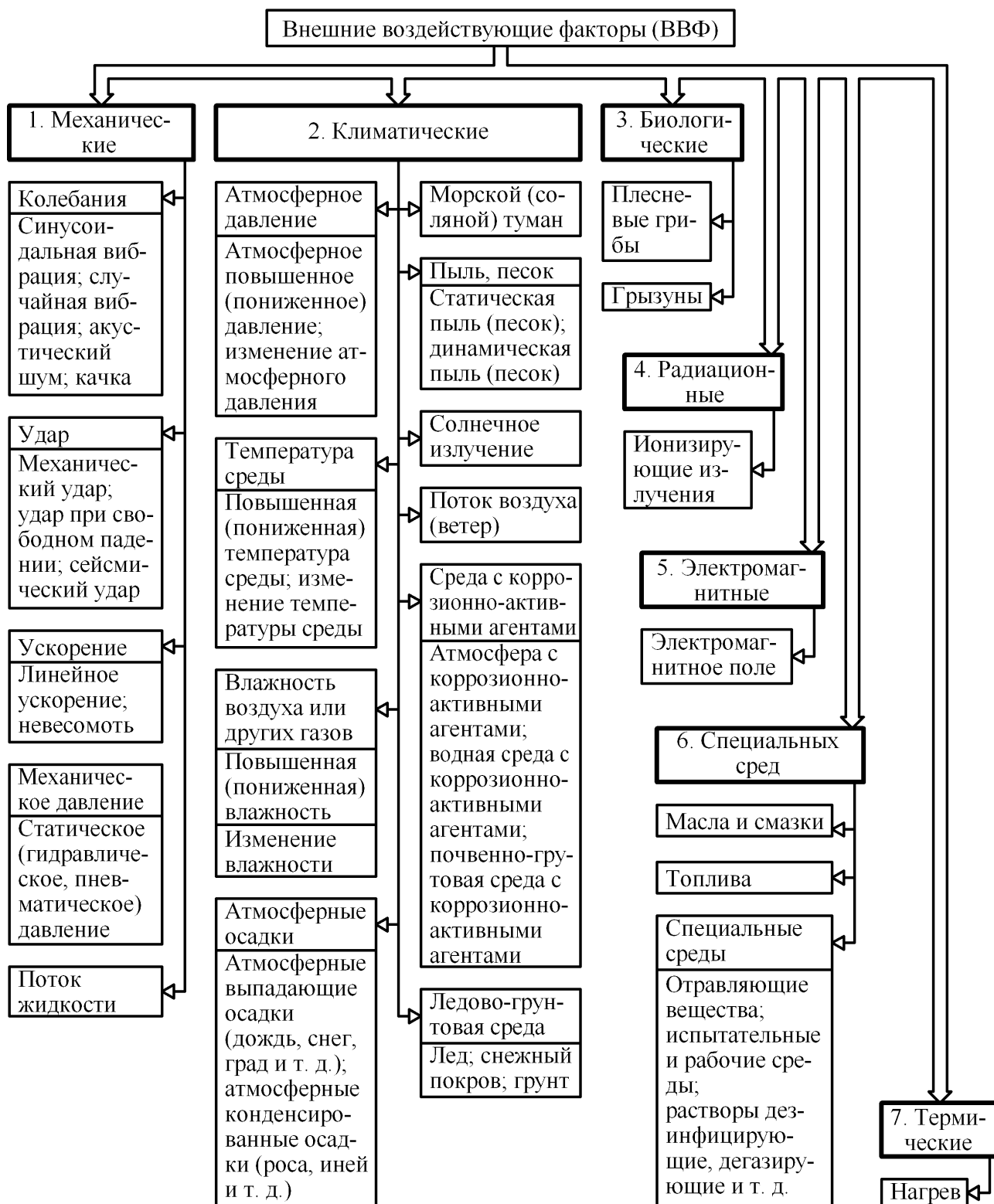


Рисунок 6.1 – Номенклатура ВВФ по стандарту [6.2]

D6.5 условия эксплуатации: Совокупность ВВФ, действующих на конкретную t -систему при ее эксплуатации [6.3].

Как правило, при разработке РЭС реальные условия эксплуатации, в которых оно будет использоваться, неизвестны. Поэтому конструкторы в качестве условий эксплуатации принимают совокупность ВВФ, воздействию которых будет подвергаться опытный или головной образец РЭС на приемочных испытаниях по окончании разработки РЭС. Именно характеристики испытательных ВВФ являются определяющими при выборе конструктивных решений в процессе проектирования.

Номенклатура испытательных ВВФ обычно выбираются из стандартов [6.4 – 6.7] и др.

6.2 Синусоидальная вибрация

Испытание на прочность или устойчивость к синусоидальной вибрации (рисунок 6.2) является одним из самых распространенных механических испытаний РЭС. Зависимость перемещения платформы вибростенда с закрепленным на ней РЭС от времени (рисунок 6.3, *a*) выражается формулой

$$s_0 = -s_{0a} \sin 2\pi ft, \quad (6.1)$$

где s_0 и s_{0a} – мгновенное значение и амплитуда перемещения платформы стенда, м,

$$f = \frac{1}{T} \text{ – частота вибрации, Гц,}$$

T – период вибрации, с.

t – время, с.

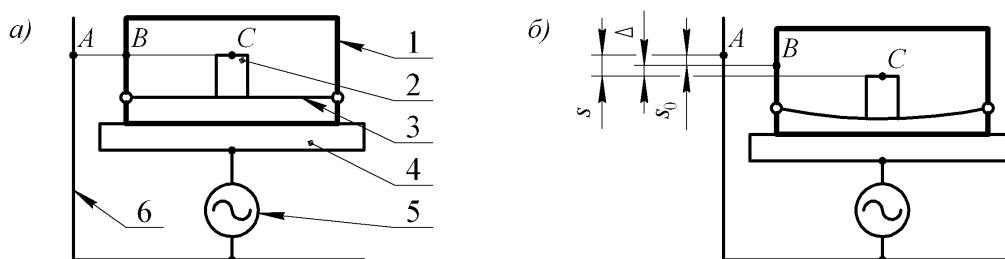


Рисунок 6.2 – Схема испытаний РЭС на вибропрочность:

- a*) положение частей системы при неподвижной платформе вибростенда;
- б*) одно из положений частей системы при вибрирующей платформе стенда;
- 1 – корпус РЭС; 2 – агрегат РЭС массой m ; 3 – несущая деталь; 4 – платформа стенда;
- 5 – источник вибрации; 6 – части, неподвижные относительно фундамента стенда

Зависимость ускорения платформы вибростенда при таком движении (рисунок 6.3, *б*) описывается формулой

$$a_0 = a_{0a} \sin 2\pi ft, \quad (6.2)$$

где a_0 и a_{0a} – мгновенное значение и амплитуда ускорения платформы станда, м/с².

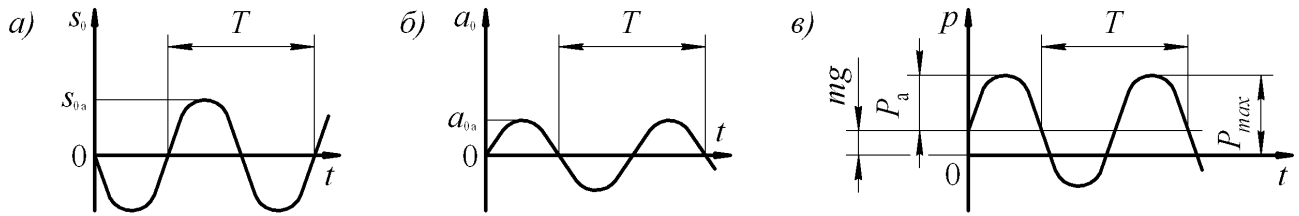


Рисунок 6.3 – Графики зависимости перемещения (а), ускорения (б) платформы станда и нагрузки на несущую деталь (в) от времени при вибрации

Амплитуда ускорения, амплитуда перемещения и частота вибрации связаны соотношением

$$a_{0a} = (2\pi f)^2 s_{0a} \approx 40 f^2 s_{0a}. \quad (6.3)$$

На практике перемещение обычно измеряется в мм, а ускорение – в долях ускорения свободного падения. Связь амплитуды ускорения, амплитуды перемещения и частоты в этом случае имеет вид

$$G = \frac{a_{0a}}{g} \approx 0,004 f^2 X_0, \quad (6.4)$$

где $g \approx 10$ м/с² – ускорение свободного падения,

G – амплитуда ускорения платформы станда, g,

X_0 – амплитуда перемещения платформы станда, мм.

Движение платформы станда через жесткий корпус 1 передается несущей детали 3 и расположенному на ней агрегату 2. Перемещение точки С (рисунок 6.2), связанной с агрегатом, описывается уравнениями:

относительно точки А

$$s = s_a \sin 2\pi ft, \quad (6.5)$$

относительно точки В

$$\Delta = \Delta_a \sin 2\pi ft, \quad (6.6)$$

где s и s_a – мгновенное значение и амплитуда перемещения точки С относительно точки А;

Δ и Δ_a – мгновенное значение и амплитуда перемещения точки C относительно точки B . Эти перемещения соответственно равны мгновенному значению и амплитуде прогибов несущей детали.

Амплитуда вибрационной нагрузки P_a на несущую деталь рассчитывается по формуле

$$P_a = \mu_1 m a_{0a}, \quad (6.7)$$

где m – масса агрегата 2, кг
 μ_1 – коэффициент динамичности.

Максимальная нагрузка на несущую деталь является суммой статической нагрузки, равной весу агрегата, и амплитуды вибрационной нагрузки

$$P_{max} = mg + \mu_1 m a_{0a}. \quad (6.8)$$

График зависимости нагрузки p на несущую деталь при вибрации приведен на рисунке 6.3, в.

Амплитуды перемещений точки C (рисунок 6.1) зависят от амплитуды перемещения платформы вибростенда и частотного отношения $\eta = \frac{f}{f_0}$, где f_0 – собственная частота колебаний системы «несущая деталь – агрегат». Эта зависимость выражается формулами:

относительно точки B

$$\Delta_a = \mu_2 s_{0a}, \quad (6.9)$$

относительно точки A

$$s_a = \mu_3 s_{0a}. \quad (6.10)$$

Коэффициенты динамичности μ_1 , μ_2 , μ_3 определяются по формулам

$$\mu_1 = \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{Q^2}}}, \quad \mu_2 = \frac{\eta^2}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{Q^2}}}, \quad \mu_3 = \frac{\sqrt{1 + \frac{\eta^2}{Q^2}}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{Q^2}}}, \quad (6.11)$$

где Q – добротность механической системы.

Графики зависимости коэффициентов динамичности от частотного отношения изображены на рисунке 6.4. Обычно можно считать, что $\mu_3 \approx \mu_1$.

При значениях частотного отношения близких к единице (значениях частоты колебаний вибростенда близких к собственной частоте системы) ампли-

туды колебаний и нагрузки на несущую деталь многократно возрастают. Это явление называют резонансом. При частотном отношении $\eta = 1$ коэффициенты $\mu_1 = \mu_2 = Q$, $\mu_3 \approx Q$. Значение добротности обычно лежит в пределах $Q = 2 - 25$ [6.8]. В отсутствие экспериментальных данных для несущих систем из легких сплавов можно принять $Q = 10$.

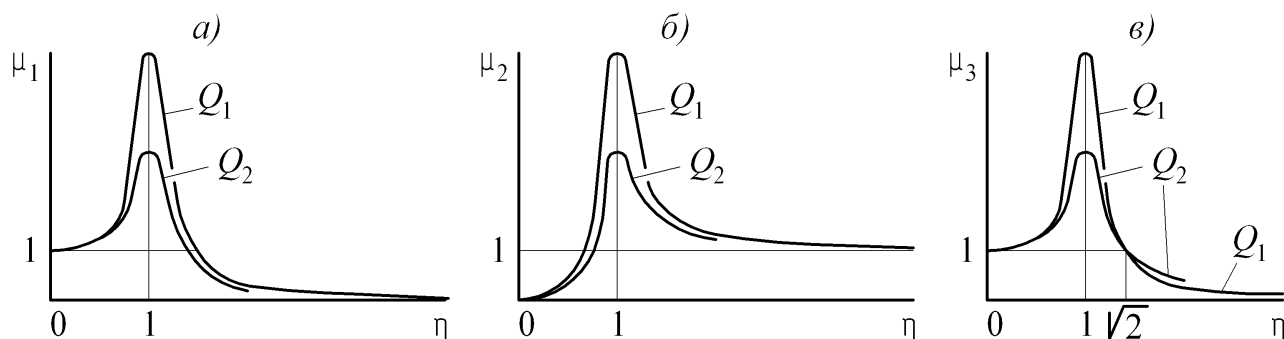


Рисунок 6.4 – Графики зависимости коэффициентов динамичности от частотного отношения ($Q_1 > Q_2$)

В теоретической механике под резонансом понимаются вынужденные колебания, соответствующие одному из максимумов амплитудно-частотной характеристики [6.9]. Для колебательных систем, рассматриваемых в СММ, резонансная частота по определению из [6.9] практически равна собственной частоте. Но в технике понятие «резонанс» отличается от понятия, выражаемого этим термином в теоретической механике [6.7, 6.10, 6.11].

Д6.7 резонанс механических элементов изделия: Явление увеличения амплитуды вынужденных колебаний элементов механической системы изделия в два раза и более по сравнению с амплитудой колебаний точек их крепления при постоянном внешнем воздействии, возникающее на частотах вибрационных нагрузок, близких к частоте собственных колебаний этих элементов.

При $Q = \infty$ частотные отношения, при которых наблюдается резонанс, определяются из уравнения

$$\mu_2 = \frac{\eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2}} = \frac{\eta^2}{|1-\eta^2|} = 2. \quad (6.12)$$

Решение этого уравнения дает два значения частотного отношения ($\eta_{min}=0,816$, $\eta_{max}=\sqrt{2}=1,414$), между которыми наблюдается резонанс (рисунок 6.5). В технике (в отличие от теоретической механики) резонансные частоты занимают непрерывный диапазон в окрестностях собственной частоты колебательной системы.

В РЭС, предназначенных для установки только в стационарных помещениях, не рекомендуется допускать резонанса механических элементов в диапазоне до 25 Гц, в РЭС надводных кораблей и подводных лодок – до 60 Гц, в РЭС других объектов – до 40 Гц.

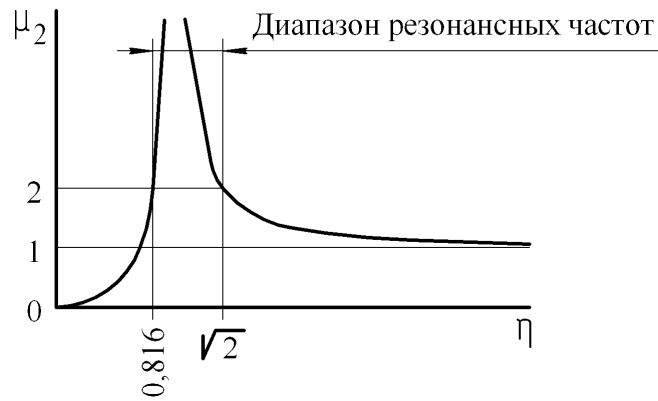


Рисунок 6.5 – Резонансные частоты

Об уровне вибрационных воздействий в различных условиях эксплуатации судят по максимальной амплитуде ускорения (таблица 6.1) [6.10, 6.11].

Таблица 6.1

Уровень вибрационных воздействий	Максимальная амплитуда ускорения
Незначительный	до $1,2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,12 g)
Незначительный 1	свыше $1,2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,12 g) « $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,25 g)
Малозначительный	« $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,25 g) « $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,5 g)
Заметный	« $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,5 g) « $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (1 g)
Высокий	« $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (1 g) « $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (2 g)
Экстремально высокий	« $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (2 g) « $50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (5 g)
Экстремально высокий специальный	« $50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (5 g)

В стандартах режим испытаний на прочность или устойчивость к воздействию синусоидальной вибрации задается указанием диапазона частот вибрации, амплитуды перемещения и амплитуды ускорения платформы стенда и продолжительности действия вибрации. Из формул (6.3) и (6.4) следует, что одновременно выдержать заданные амплитуду перемещения и амплитуду ускорения во всем диапазоне частот невозможно. На частотах выше так называемой частоты перехода на стендах поддерживается заданная амплитуда ускорения, на частотах ниже частоты перехода – заданная амплитуда перемещения.

D6.8 частота перехода: Частота вибрации, определяемая по формуле

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a_{0a}}{s_{0a}}}, \quad (6.13)$$

где f_n – частота перехода,

a_{0a} – амплитуда ускорения для частоты выше частоты перехода,

s_{0a} – амплитуда перемещения для частоты ниже частоты перехода.

Пример указания в стандартах режима испытаний на вибропрочность:

диапазон частот 10 – 500 Гц;
 амплитуда перемещения 0,5 мм;
 амплитуда ускорения 50 м/с² (5 g);
 частота перехода 50 Гц;
 продолжительность воздействия 72 часа.

6.3 Удар

D6.9 механический удар: Кратковременное механическое воздействие твердых тел при их столкновении между собой и сопутствующие этому процессу явления [6.1].

Воздействие считается кратковременным, если время воздействия меньше периода собственных колебаний системы или соизмеримо с ним. Вследствие удара возникают силы, деформирующие конструктивные элементы РЭС и вызывающие в них механические напряжения, которые, в свою очередь могут служить причиной их разрушения. Удар, как правило, сопровождается вибрацией на частотах собственных колебаний конструктивных элементов.

Изменение ускорения во времени, вызываемое ударом, называют ударным импульсом. Основные параметры ударного импульса: пиковое ударное ускорение ($a_{y \max}$), длительность действия ударного импульса (τ) и форма ударного импульса – закон изменения ускорения во времени.

D6.10 пиковое ударное ускорение: Наибольшее абсолютное ударное ускорение [6.12].

Ударные стенды воспроизводят импульсы трех типовых форм (рисунок 6.6) [6.5, 6.7].

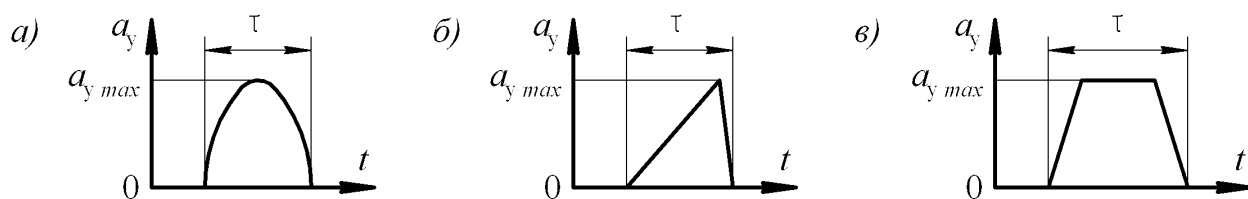


Рисунок 6.6 – Типовые формы ударных импульсов:
 а) полусинусоидальная, б) треугольная, в) трапецидальная

При испытаниях РЭС чаще всего используется ударный импульс полусинусоидальной формы. Результат воздействия удара на колебательную систему зависит от относительной длительности τ^* импульса ударного ускорения, которая определяется по формуле

$$\tau^* = \frac{\tau}{T_0}, \quad (6.14)$$

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

Различают три основных режима воздействия удара: квазистатический, баллистический и квазирезонансный [6.13, 6.14]. Если $\tau^* \gg 1$, то наблюдается квазистатический режим. В этом режиме масса m движется практически вместе с основанием. Ее пиковое перемещение s_m и пиковое ускорение a_m практически совпадают с пиковым перемещением $s_{осн}$ и пиковым ускорением $a_{осн}$ основания (рисунок 6.7, а).

Баллистический режим наблюдается, когда $\tau^* \ll 1$ (для импульса полусинусоидальной формы при $\tau^* < 0,25$). В этом случае пиковые перемещение и ускорение массы меньше пиковых перемещений и ускорений, приложенных к основанию, (происходит ослабление удара) (рисунок 6.7, б). В пределе при $\tau^* \rightarrow 0$ перемещение и ускорение массы равно нулю, т. е. имеет место полная изоляция удара.

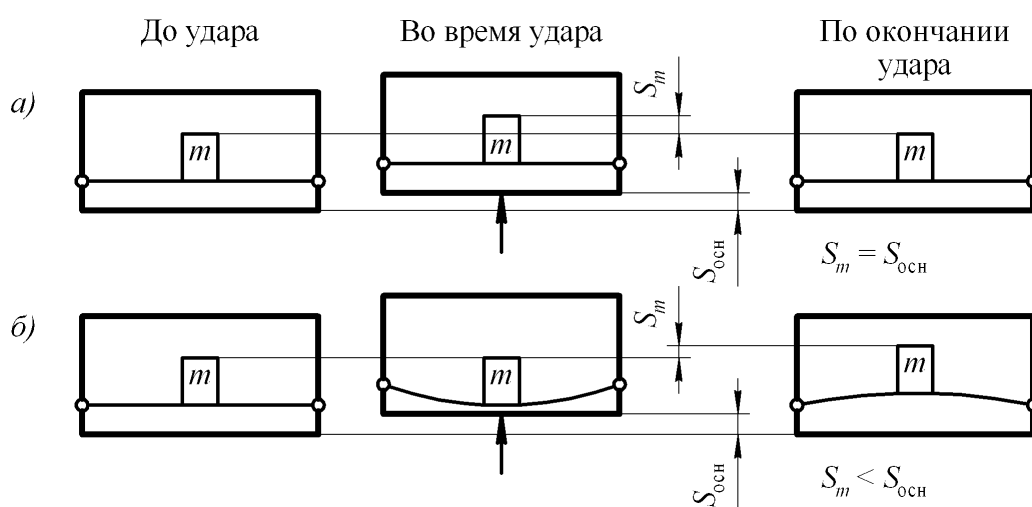


Рисунок 6.7 – Квазистатический (а) и баллистический (б) режимы удара

При значении относительной длительности импульса близкой к единице (для импульса полусинусоидальной формы $0,25 < \tau^* < (5 \dots 10)$) наблюдается квазирезонансный режим. В этом случае пиковые перемещение и ускорение массы превышают пиковые перемещение и ускорение основания, т. е. происходит усиление действия удара на массу.

По окончании удара (при $t > \tau$) движение массы происходит по закону свободных колебаний.

Максимальная ударная нагрузка, действующая на несущую деталь при ударе, определяется по формуле

$$P_y = \mu_y m a_{осн} , \tag{6.15}$$

где P_y – максимальная нагрузка при ударе, Н;

μ_y – коэффициент динамичности при ударе;

$a_{осн}$ – пиковое ударное ускорение основания, m/c^2 ;

m – масса агрегата, размещенного на упругом элементе системы, кг.

Соотношение между длительностью ударного импульса, собственной частотой колебаний механической колебательной системы и режимом удара при ударе импульсом полусинусоидальной формы показаны на рисунке 6.8 [6.15].

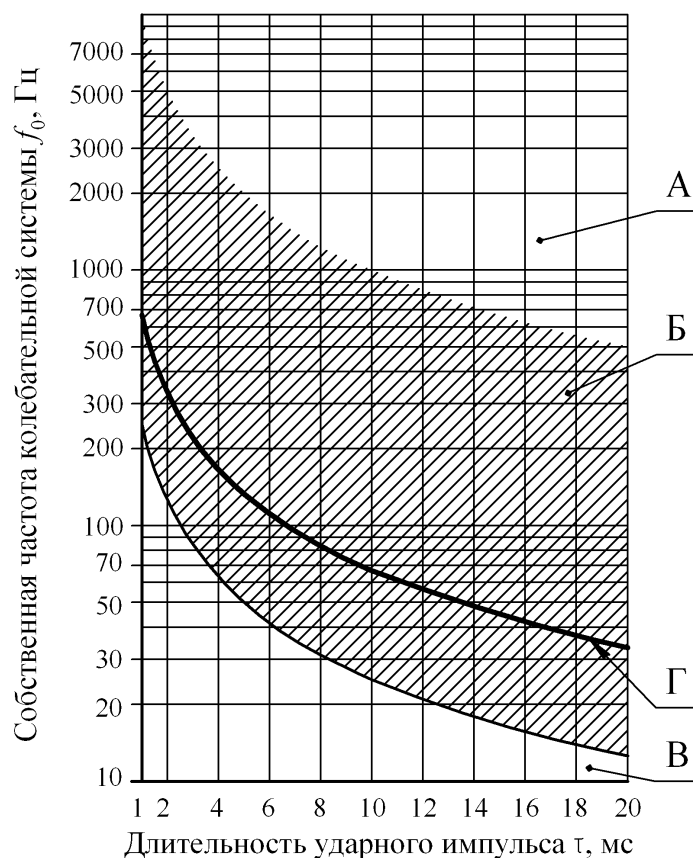


Рисунок 6.8 – Режимы удара импульсом полусинусоидальной формы:
 А – зона квазистатического режима; Б – зона квазирезонансного режима;
 В – зона баллистического режима; Г – кривая, соответствующая
 максимальному коэффициенту динамичности

Коэффициент динамичности при ударе импульсом полусинусоидальной формы определяется по графику на рисунке 6.9 [6.16].

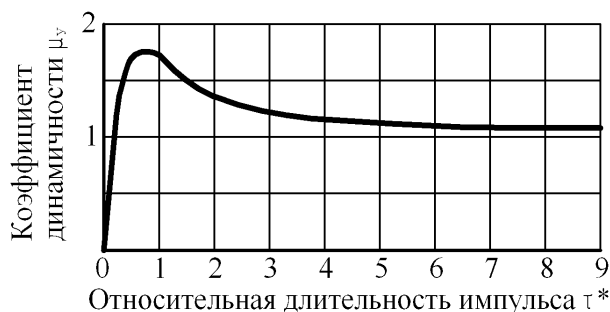


Рисунок 6.9 – График зависимости коэффициента динамичности при ударе
 от относительной длительности ударного импульса

Об уровне ударных воздействий судят по пиковому ускорению (таблица 6.2) [6.10, 6.11].

Таблица 6.2

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)

В стандартах режим испытаний на прочность или устойчивость к воздействию ударов задается указанием пикового ударного ускорения, длительности ударного импульса и числа ударов.

6.4 Атмосферное пониженное давление

Наземные и морские РЭС могут подвергаться воздействию атмосферного давления при транспортировании в негерметизированных отсеках самолетов. РЭС-сооружения критичны к воздействию пониженного давления при авиатранспортировании только в том случае, если в их состав входят герметичные оболочки, из которых не откачен воздух.

Интенсивность распределенной нагрузки на оболочку определяется разностью давлений внутри и снаружи оболочки

$$q = |q_{\text{вн}} - q_{\text{нар}}| \quad (6.16)$$

где q – интенсивность распределенной нагрузки на оболочку, Па;

$q_{\text{вн}}$ – давление внутри оболочки, Па;

$q_{\text{нар}}$ – давление снаружи оболочки, Па.

При сборке РЭС в наземных условиях давление внутри и снаружи оболочки уравновешены (рисунок 6.10, а). При авиатранспортировании в начале полета давление внутри превышает давление снаружи (рисунок 6.10, б). Если степень герметичности относительно не высока (например, водонепроницаемые оболочки могут быть проницаемы для воздуха), в течение длительного полета воздух может выйти из оболочки, и при посадке давление снаружи может превысить давление изнутри (рисунок 6.10, в). После полетов на больших высотах (10 – 15 км) это давление может быть практически равным атмосферному.

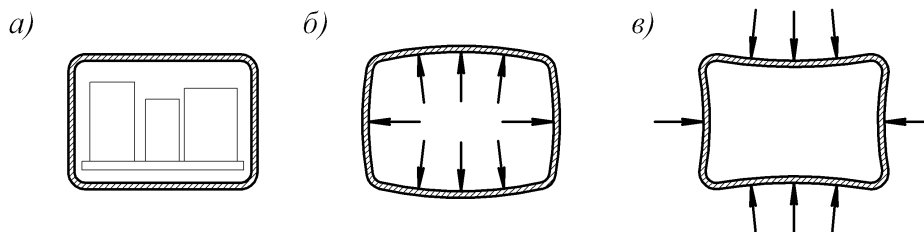


Рисунок 6.10 – Нагрузки на оболочку герметичного корпуса при авиатранспортировании: а) перед полетом, б) во время полета, в) после полета

Список использованных источников

- 6.1 ГОСТ 26883 – 86. Внешние воздействующие факторы. Термины и определения.
- 6.2 ГОСТ 21964 – 76. Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики.
- 6.3 ГОСТ 25866 – 83. Эксплуатация техники. Термины и определения.
- 6.4 ГОСТ 16019 – 2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов.
- 6.5 ГОСТ 11478 – 88. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие механических и климатических факторов.
- 6.6 ГОСТ 15050 – 69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
- 6.7 ГОСТ 20.57.406 – 81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний.
- 6.8 Карпушин В. Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. – М.: Советское радио, 1971.
- 6.9 ГОСТ 24346 – 80. Вибрация. Термины и определения.
- 6.10 ГОСТ 17516.1 – 90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.
- 6.11 ГОСТ 30631 – 99. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации.
- 6.12 ГОСТ 8.127 – 74. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение параметров ударного движения. Термины и определения.
- 6.13 Пеллинец В. С. Измерение ударных ускорений. М.: Изд-во стандартов, 1975.
- 6.14 Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: учеб. пособие / Под ред. А. Н. Коробова. – М.: Радио и связь, 1987.
- 6.15 Бобков Н. М. Радиоэлектронные средства как строительные сооружения // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – 2010. – № 1, 2.
- 6.16 Динамический расчет зданий и сооружений: Справочник проектировщика / Под ред. Б. Г. Коренева, Н. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1984.

Николай Михайлович Бобков – преподаватель ГБПОУ «НРТК», конструктор ОАО «ФНПЦ «НИИПИ «Кварц» имени А. П. Горшкова».
E-mail: n.bobkov@mail.ru