

## Тема 4. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РЭС

### Список сокращений

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика

БНК – базовая несущая конструкция

ВВФ – внешний воздействующий фактор

ЕСКД – Единая система конструкторской документации

РЭА – радиоэлектронная аппаратура

РЭС – радиоэлектронное средство

СВЧ – сверхвысокая частота, сверхвысокочастотный

ТЗ – техническое задание

ТУ – технические условия

T-система – техническая система

### СОДЕРЖАНИЕ

|  | Стр. |
|--|------|
| <b>Основные понятия</b>  | 3    |
| <b>Влияние физических параметров окружающей среды</b> (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982)  | 5    |
| <b>Воздействие на РЭА внешних механических факторов</b> (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982)  | 8    |
| <b>Основные эффекты, вызываемые воздействием отдельных внешних факторов</b> (Из ГОСТ 28198 – 89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство по применению) | 11   |

|  |    |
|--|----|
| <b>Предельные нормы эксплуатации</b> (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982)   | 15 |
| <b>Бобков Н. М. Механические воздействия и нагрузки на элементы несущих систем РЭС</b> // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1998. Вып. № 7   | 16 |
| <b>Общие требования к РЭС в части стойкости к механическим ВВФ при эксплуатации</b> (Из ГОСТ 30631 – 99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации)  | 26 |
| <b>Общие требования к РЭС в части условий хранения и транспортирования</b> (Из ГОСТ Р 51908 – 2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования)  | 37 |
| <b>Испытание на прочность при транспортировании</b> (Из ГОСТ Р 51909 – 2002 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение)   | 39 |
| <b>Общие требования к РЭС в части стойкости к климатическим ВВФ при эксплуатации</b> (Из ГОСТ 15150 – 99 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды) | 41 |
| <b>Содержание хрестоматии</b>  | 50 |

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

**D1 эксплуатация:** Стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество [ГОСТ 25866 – 83].

Примечания: 1 Эксплуатация изделия включает в себя в общем случае использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт.

2 Под жизненным циклом изделия понимают совокупность разработки, изготовления, обращения, эксплуатации и утилизации изделия от начала исследования возможности его создания до окончания применения. Отличительной особенностью эксплуатации является использование или ожидание использования изделия по назначению.

**D2 техническая эксплуатация:** Часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт изделия [ГОСТ 25866 – 83].

**D3 условия эксплуатации:** Совокупность факторов, действующих на изделие при его эксплуатации [ГОСТ 25866 – 83].

Примечание: К внешним факторам, действующим на изделие в процессе эксплуатации, относятся природные условия, тепловые, химические и механические воздействия, запыленность, влажность и т. п.

**D4 хранение:** Содержание изделий в местах их размещения в соответствии с установленными правилами, предусматривающими обеспечение их сохранности до использования по назначению [ГОСТ 9.103 – 78].

**D5 хранение при эксплуатации:** Содержание неиспользуемого по назначению изделия в заданном состоянии в отведенном для его размещения месте с обеспечением сохранности в течение заданного срока [ГОСТ 25866 – 83].

**D6 условия хранения:** Совокупность внешних факторов, действующих на изделие при его хранении [ГОСТ 9.103 – 78].

**D7 транспортирование:** Процесс перемещения груза с применением транспортных и грузоподъемных средств, начинающийся с погрузки и кончающийся выгрузкой на месте назначения [ГОСТ 9.103 – 78].

**D8 транспортирование при эксплуатации:** Перемещение изделия в заданном состоянии с применением, при необходимости, транспортных и грузоподъемных средств, начинающееся с погрузки и кончающееся разгрузкой на месте назначения [ГОСТ 25866 – 83].

**D9 условия транспортирования изделий:** Совокупность факторов (климатических и механических) окружающей среды, воздействующих на изделие и его упаковку в местах их размещения в транспортных средствах [ГОСТ 9.103 – 78].

**D10 встроенный элемент:** Законченное сборкой изделие, удовлетворяющее требованиям соответствующих стандартов или технических условий, входящее в конструкцию и схему комплектного изделия (или блока) и находящееся в (или на) общей оболочке и (или) каркасе последнего [ГОСТ 15150 – 69].

**D11 комплектное изделие:** Законченное сборкой изделие, удовлетворяющее требованиям соответствующих стандартов или технических условий и имеющее в составе своей конструкции встроенные элементы, а также общую оболочку и (или) каркас [ГОСТ 15150 – 69].

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

(Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М., 1982. С. 140 – 143)

**Влияние температуры.** Известно, что увеличение температуры вызывает расширение материалов, а охлаждение – сжатие. При этом однородные тела изменяют линейные размеры  $\Delta l$  по следующей зависимости:

$$\Delta l = \alpha_l l (T_2 - T_1),$$

где  $l$  – линейный размер тела;  $T_2$  – температура нагретого тела, К;  $T_1$  – начальная температура тела, К;  $\alpha_l$  – температурный коэффициент линейного расширения.

Если при разработке несущих конструкций не будут учтены изменения линейных размеров, то при эксплуатации возможны деформации связей и заклинивания подвижных частей. Особенно опасны тепловые удары, от которых в первую очередь разрушаются хрупкие материалы, такие как стекло, керамика и некоторые пластмассы с залитой в них арматурой.

Тепловой удар характеризуется скоростью изменения температуры элементов конструкции при резком изменении температуры окружающей среды с переходом ее через нулевое значение (по Цельсию). Скорость изменения температуры материалов конструкции зависит от их теплопроводности. Тепловое разрушение материалов происходит особенно интенсивно в неоднородных структурах.

Одновременно с механическими наблюдаются и физические изменения свойств материалов. При увеличении температуры происходят размягчение и утечка некоторых заливочных составов, вследствие чего нарушается герметичность конструкции и теряются изоляционные свойства материалов.

В результате теплового воздействия происходит интенсивное старение материалов с потерей механических и электрических свойств. При колебании температуры меняется емкость конденсаторов, снижается сопротивление изоляции, меняется собственная емкость и добротность контуров и сопротивление резисторов.

В результате нарушается настройка аппаратуры, снижается чувствительность и избирательность радиоприемных устройств. При температуре ниже 233 К некоторые компаунды и другие изоляционные материалы твердеют и растрескиваются.

**Влияние влажности.** Влажность атмосферного воздуха изменяется в широких пределах в зависимости от характера климата, рельефа местности или близости водной среды и создается непосредственным заполнением окружающего пространства росой, туманом, инеем, льдом и, наконец, водой.

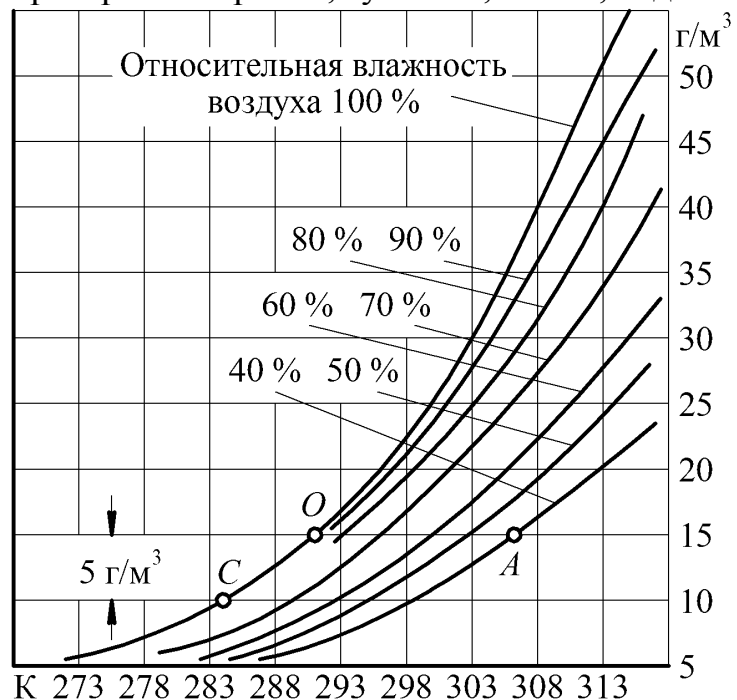


Рис. 1. Зависимость влажности воздуха от температуры животными морскими организмами. Морская вода электропроводна. Она хороший электролит, усиливающий электрохимическую коррозию контактных соединений. При условии периодического пребывания металла под водой и на воздухе скорость коррозии зависит от температуры и в умеренном климате увеличивается в 2 раза и более, а в тропическом — в 4 раза.

Наиболее распространенным средством защиты РЭА от влияния влажности является герметизация. Однако следует учитывать, что полная герметизация может быть обеспечена только вакуумплотными конструкциями. В недостаточно герметизированный объем из окружающего воздуха влага переносится диффузией через поры материала или уплотнение.

Снижение температуры воздуха в замкнутом объеме приводит к увеличению относительной влажности и даже к выпадению росы. Например, из кривых зависимости абсолютной влажности воздуха от температуры (рис. 1) видно, что при снижении температуры от точки А до точки О относительная влажность увеличивается до 100%. Дальнейшее понижение температуры до точки С вызывает уже выпадение части влаги в виде росы в количестве, определенном разностью координат и равном  $5 \text{ г/м}^3$ . И, наоборот, при повышении температуры в замкнутом объеме влажность воздуха снижается.

Туман образуется при конденсации водяных паров, снег или лед — при перенасыщении холодного ( $t \leq 0^\circ\text{C}$ ) воздуха влагой. Обледенение возникает в высокогорных заснеженных районах с наветренной стороны, при передвижении с большой скоростью в тумане или в облачных осадках при отрицательной температуре, близкой к  $0^\circ\text{C}$  (273 К).

Аппаратура, используемая в морских условиях на палубе, постоянно подвергается воздействию солей, содержащихся в морской воде. При погружении РЭА на большую глубину в море кроме химического воздействия имеет место высокое давление воды. Кроме того, приборы, работающие в морской воде, подвержены обрастанию растительными и

При работе аппаратуры воздух в таком объеме нагревается и, расширяясь, частично выходит наружу. При остывании аппаратуры внутри такого объема выпадает конденсат, давление снижается, и поэтому окружающий влажный воздух вновь проникает туда. Каждый такой цикл изменения температура и давления внутри недостаточно герметизированного объема вызывает конденсацию влаги, и содержание воды в нем все время увеличивается. Таким образом, происходит как бы засасывание влаги из воздуха, в то время как у негерметизированного объема это явление отсутствует.

**Влияние атмосферного давления.** Давление у земной поверхности подвержено климатическим изменениям. С увеличением высоты атмосферное давление снижается.

Снижение атмосферного давления уменьшает электрическую прочность воздуха, вследствие чего пробивное напряжение между разноименными контактами падает, ухудшается и поверхностное сопротивление изоляционных деталей. Низкое давление воздуха может вызывать искровые разряды, пробой, образование короны и т. д. Кроме того, при низком давлении снижается теплопроводность воздуха, вследствие чего ухудшаются условия охлаждения аппаратуры.

**Влияние пыли.** Пыль состоит из мелких и твердых частиц, равномерно распределенных в воздухе. Эти частицы тяжелее воздуха, медленно осаждаются на поверхности и легко проникают всюду через неплотные соединения и мелкие отверстия. В РЭА, осаждаясь на поверхности вместе с влагой, пыль создает условия для развития плесени.

Пыль состоит из органических и неорганических частиц диаметром от 0,005 до 0,5 мм. Органические частицы составляют примерно 25 – 35 % всего количества пыли и представляют собой мельчайшие остатки животного и растительного мира, грибковых образований, бактерии, частицы смол и волокон шерсти и хлопка. Концентрация пыли в атмосфере с высотой резко убывает и на высоте 1500 м почти в 10 раз меньше, чем у поверхности земли.

Загрязнению пылью особенно подвержены поверхности, находящиеся в полях высокого напряжения постоянного тока. Частицы пыли легко поглощают влагу и становятся проводниками электрического тока, что значительно снижает изоляцию поверхностей и часто служит причиной образования дуги, короткого замыкания или пробоя поверхности, выгорания или нарушения контакта.

При разработке конструкции необходимо предусматривать возможность простыми средствами удалять с поверхностей накопившуюся пыль. В случае особых требований пылезащитности все проемы и соединения в корпусах приборов закрываются пыленепроницаемыми уплотнениями, а вентиляционные отверстия пылезащитными фильтрами.

**Нормальные климатические условия.** Нормальные климатические условия в естественной обстановке устанавливаются только на короткие промежутки времени и очень редко. Постоянными такие условия создаются обычно в закрытых помещениях, где поддержание влажности, температуры и чистоты воздуха в установленных пределах производится специальными установками – кондиционерами.

Нормальными климатическими условиями принято считать окружающий воздух, не загрязненный химическими или механическими примесями, при температуре 288 – 303 К (15 – 30°С), давлении  $(8,36 \div 10,6) \cdot 10^4$  Па и относительной влажности 45 – 80 % при температуре 303 К.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЭА ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

(Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982., С. 143 – 145)

Сила и характер воздействующих на аппаратуру внешних механических факторов зависит от условий эксплуатации. Возникающие при этом силы могут быть значительными по величине и продолжительны по времени. Они имеют место вследствие: ускорения, возникающего при вибрации оснований; ударов при воздействии взрывных волн или падении, резкого изменения скорости и направления движения объекта; механического воздействия акустического удара.

**Влияние вибрации.** Вибрации подвержена аппаратура, устанавливаемая на автомобильном и железнодорожном транспорте, в производственных зданиях, на кораблях, самолетах и управляемых ракетах. Например, на кораблях основная вибрация создается ходовыми винтами и главным двигателем (сотрясение корпуса, переборки, палубы и надстроек), на самолетах – тяговыми двигателями, встречным потоком воздуха и другими причинами. В производственных помещениях силы, возбуждающие колебания, возникают при вращении неуравновешенных масс или при возвратно-поступательном движении механизмов, связанных с ударами при ковке и штамповке. Такие силы в большинстве своем периодичны, знакопеременны и характеризуются частотой и амплитудой колебания.

Практический диапазон частот вибрации, действующий на аппаратуру, имеет широкий предел. Например, для наземной аппаратуры, переносимой или перевозимой на автомашинах, частота достигает 120 Гц при ускорении, действующем на приборы, до 6g. Для самолетной аппаратуры диапазон вибрации находится в пределах 3 – 3000 Гц при ускорении от 4 до 10g. Для корабельной аппаратуры вибрация достигает 35 – 60 Гц при ускорении 1,5 – 2,5g и зависит от типа корабля и его водоизмещения. Работающая в таких условиях РЭА должна обладать вибропрочностью и виброустойчивостью.

*Под вибропрочностью* понимают способность аппаратуры противостоять разрушающему действию вибрации в заданных диапазонах частот и при возникающих ускорениях в течение срока службы, а под виброустойчивостью



аппаратуры – способность выполнения всех функций в условиях вибрации в заданных диапазонах частот и возникающих при этом ускорений.

При воздействии вибрации мгновенное значение перемещения прибора имеет вид  $x = A \sin \omega t$ , где  $A$  – амплитуда перемещения;  $\omega$  – угловая частота колебания.

Вторая производная по времени от этого выражения дает величину мгновенного ускорения  $\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t$ , где  $A\omega^2$  – максимальное ускорение, действующее на прибор. Выразив угловую частоту колебания через частоту вибрации  $f$ , Гц,  $\omega = 2\pi f$  для максимальной величины действующего ускорения, получим  $\ddot{x} = 4\pi^2 A f^2$ . Значение ускорения, действующего на РЭА, принято выражать в единицах ускорения силы тяжести, т. е.  $\ddot{x} = jg$ , где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ; тогда действующая перегрузка в единицах ускорения силы тяжести будет иметь вид

$$j = 4\pi^2 A f^2 / g \approx A f^2 / 250.$$

Отсюда максимальная динамическая сила, действующая на прибор весом  $G_m$ , будет составлять  $P_d = jG_m$ .

**Влияние ударов.** Ударом называется мгновенное изменение скорости движения системы на конечное значение. Во время действия на систему ударного импульса силы движение ее происходит по закону вынужденных колебаний, а после действия – по закону свободных колебаний. Формой ударного импульса в простейших случаях может быть полусинусоида, трапеция или прямоугольник с длительностью до половины периода.

Практически удар может произойти в любом направлении, а нарастание и спад его измеряются долями секунды. Удары могут быть периодические и непериодические. К периодическим относят удары, которые повторяются через равные интервалы времени, к непериодическим – удары, повторяющиеся с различными интервалами времени (транспортная тряска) и случайные удары. В результате удара происходят колебания с большой амплитудой, действие которой и может вызвать значительные повреждения в аппаратуре, но благодаря демпфирующей способности упругих элементов они быстро затухают.

Удары могут возникать вследствие падения прибора, столкновения движущихся объектов, воздействия взрывной волны, приземления самолета или маневрирования вагонов железнодорожного транспорта и т. д. Мгновенно действующие нагрузки при этом достигают  $1000g$ . Работающая в таких условиях РЭА должна обладать *ударостойкостью*, т. е. способностью противостоять разрушающему действию ударов определенного значения и после их воздействия нормально функционировать.

При воздействии на аппаратуру удара самопроизвольно срабатывают подвижные и неуравновешенные вращающиеся части механических систем (реле, муфты, фиксаторы), самоотвинчиваются крепежные детали, нарушается регулировка, ломается несущая конструкция и т. д.

**Влияние линейного и центробежного ускорения.** При изменении скорости на прямолинейном участке движения или при криволинейном движении установленные на объекте приборы испытывают ускорение. Практически перегрузка в долях ускорения силы тяжести в этих случаях может достигать 10 – 12 g и более.

**Механическое воздействие шумов и акустических ударов.** Сильные шумы и особенно акустические удары вызывают значительные колебания звуковой частоты. Часть энергии, высвобождающейся при работе пульсационного двигателя, например реактивного с уровнем шума свыше 140 дБ, вызывает высокочастотную вибрацию находящейся в непосредственной близости электронной аппаратуры.

Сильный шум вызывает в аппаратуре ряд нежелательных явлений, нарушающих ее нормальное функционирование. Так, возбуждается вибрация управляющих реле, усиливается процесс обгорания контактных пар и т. д. Явления резонансных колебаний в области звуковых частот могут вызвать различные неисправности и поломки в чувствительных элементах РЭА.

## **ОСНОВНЫЕ ЭФФЕКТЫ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОТДЕЛЬНЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

(Из ГОСТ 28198 – 89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство по применению)

В ГОСТ 28198 – 89 приведены основные сведения по испытаниям на воздействие внешних факторов и степени их жесткости. Кроме того, стандарт содержит сведения по атмосферным условиям для проведения измерений и испытаний.

Стандарт предназначен для использования в случаях, когда нормативно-техническая документация на определенный тип изделия (электротехнические, электромеханические и электронные устройства и приборы, их блоки, узлы и детали, далее – образец) должна быть разработана таким образом, чтобы добиться единообразия и воспроизводимости испытаний изделий на воздействие внешних факторов.

### **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

#### **В.4. Основные результаты воздействия факторов окружающей среды**

Основными результатами воздействия факторов окружающей среды на образец являются коррозия, растрескивание, хрупкость, абсорбция или адсорбция влаги, окисление. Они могут привести к изменению физических и (или) химических свойств материалов.

Основные результаты некоторых отдельных внешних воздействующих факторов и обусловленные ими типичные отказы приведены в табл. 1. Примерами внешних факторов, не приведенных в табл. 1, являются ядерная реакция и рост грибов.

Таблица 1

| Факторы окружающей среды        | Основной эффект воздействия   | Типичный вид отказов  |
|---------------------------------|---|---|
| Высокая температура             | Тепловое старение: окисление, растрескивание, химическая реакция.<br>Размягчение, плавление, сублимация.<br>Уменьшение вязкости, испарение.<br>Расширение         | Нарушение изоляции, механическое повреждение, увеличение механического напряжения, увеличивающийся износ подвижных частей из-за расширения или потери смазки                  |
| Низкая температура              | Хрупкость.<br>Образование льда.<br>Увеличение вязкости и затвердевание.<br>Потеря механической прочности.<br>Физическое сжатие                                    | Нарушение изоляции, растрескивание, механическое повреждение, увеличивающийся износ подвижных частей, вызванный сжатием или потерей механической прочности или потерей смазки |
| Высокая относительная влажность | Абсорбция или адсорбция влаги.<br>Набухание.<br>Потеря механической прочности.<br>Химическая реакция; коррозия<br>Электролиз.<br>Увеличение проводимости изоляции | Физическое разрушение, нарушение изоляции, механическое повреждение   |
| Низкая относительная влажность  | Обезвоживание.<br>Хрупкость.<br>Потеря механической прочности.<br>Усадка.<br>Увеличение абразивного износа между подвижными контактами                            | Механическое повреждение, растрескивание  |
| Высокое давление                | Сжатие, деформация  | Механическое повреждение, течи (нарушение герметичности)  |

Продолжение табл. 1

| Факторы окружающей среды | Основной эффект воздействия   | Типичный вид отказов   |
|--------------------------|---|--|
| Низкое давление          | Расширение.<br>Снижение электрической прочности воздуха.<br>Образование короны и озона.<br>Ухудшение условий охлаждения   | Механическое повреждение, течи (нарушение герметичности), искрение, перегрев     |
| Солнечная радиация       | Химическая, физическая и фотохимическая реакция.<br>Поверхностное разрушение.<br>Хрупкость.<br>Обесцвечивание, образование озона<br>Нагрев.<br>Разностные тепловые и механические повреждения | Нарушение изоляции.<br>См. также «Высокая температура»                           |
| Песок и пыль             | Абразивный износ и эрозия.<br>Застревание.<br>Засорение.<br>Термоизоляция.<br>Электростатические эффекты  | Механическое повреждение, электрическое повреждение, увеличенный износ, перегрев |
| Коррозионная атмосфера   | Химические реакции: коррозия, электролиз.<br>Поверхностное разрушение.<br>Увеличение проводимости.<br>Увеличение контактного сопротивления  | Увеличенный износ, механическое повреждение, электрическое повреждение           |

Окончание табл. 1

| Факторы окружающей среды     | Основной эффект воздействия   | Типичный вид отказов   |
|------------------------------|---|--|
| Ветер                        | Применение силы, усталостное явление.<br>Выветривание материалов.<br>Засорение.<br>Эрозия.<br>Наведенная вибрация | Структурное разрушение, механическое повреждение.<br>См. также «Песок и пыль» и «Коррозионная атмосфера» |
| Дождь                        | Абсорбция воды.<br>Термический удар.<br>Эрозия.<br>Коррозия   | Электрическое повреждение, растрескивание, течи, поверхностное разрушение                                |
| Град                         | Эрозия.<br>Термический удар.<br>Механическая деформация   | Структурное разрушение, поверхностное разрушение   |
| Снег или лед                 | Механическая нагрузка.<br>Абсорбция воды.<br>Термический удар   | Структурное разрушение<br>См. также «Дождь»  |
| Быстрая смена температур     | Тепловой удар.<br>Тепловое напряжение   | Механическое повреждение, растрескивание, нарушение герметичности, течи                                  |
| Озон                         | Быстрое окисление.<br>Хрупкость (особенно резины).<br>Снижение электрической прочности воздуха                    | Электрическое повреждение, механическое повреждение, потускнение поверхности, растрескивание             |
| Ускорение (постоянный режим) | Механическое напряжение.  | Механическое повреждение, увеличение износа подвижных частей, структурное разрушение                     |

## **ПРЕДЕЛЬНЫЕ НОРМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

(Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982., С. 145 – 147)

Рассматривая факторы воздействия окружающей среды, можно сделать выводы, что вновь разрабатываемая аппаратура в зависимости от условий эксплуатации на объекте должна обладать для защиты:

– от климатических воздействий окружающей среды – влагоустойчивостью, теплостойкостью, холодоустойчивостью, устойчивостью к пониженному или повышенному давлению, пыле-, брызго-, водозащищенностью, защищенностью от гололеда и инея, солнечной радиации, ионизирующего излучения, полей СВЧ;

– от механических воздействий – виброустойчивостью, вибропрочностью, удароустойчивостью и ударопрочностью, ветроустойчивостью, стойкостью к линейным и центробежным ускорениям;

– от биологических воздействий окружающей среды – грибоустойчивостью, устойчивостью к насекомым и грызунам.

Меры воздействия окружающей среды на РЭА оговариваются для каждой группы аппаратуры предельными нормами эксплуатации при максимальном (или минимальном) допустимом значении физических параметров. Эти нормы служат критерием для проверки конструкции аппаратуры в процессе ее типовых испытаний; они же, в конечном счете, определяют особенности конструкции каждой группы (наземной, самолетной или корабельной РЭА).

Предельные значения параметров окружающей среды, воздействующих на РЭА по каждой группе, установлены стандартами. Эти значения в каждом случае указываются в технических условиях на вновь разрабатываемую аппаратуру.

Бобков Н. М.

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И НАГРУЗКИ НА ЭЛЕМЕНТЫ НЕСУЩИХ СИСТЕМ РЭС**

Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал ННИПИ «Кварц». 1998. Вып. № 7

Несущая система объединяет элементы радиоэлектронного средства в единую пространственную форму и обеспечивает сохранность этой формы при допустимых внешних воздействующих факторах (ВВФ). Ее образуют неподвижно соединенные между собой части РЭС, воспринимающие и передающие к точкам опоры или точкам крепления РЭС усилия, вызванные действием веса и инерции элементов РЭС. Несущая система РЭС в общем случае не является изделием. Ее состав и структура не задаются однозначно спецификацией (что обязательно требуется для изделия), а устанавливаются при конкретном анализе ее свойств в каждом случае по-разному в зависимости от целей проведения анализа. При аналитической оценке механической прочности результат выделения несущей системы из всей совокупности элементов РЭС зависит от характера действующих нагрузок и типа решаемой задачи прочности. В первую очередь в несущую систему РЭС включаются несущие изделия – детали и сборочные единицы, основное назначение которых состоит в выполнении следующих функций:

- а) обеспечении заданного пространственного расположения элементов РЭС (панели, шасси, каркасы и т. д.);
  - б) базировании и закреплении РЭС на месте применения (ножки, направляющие, опоры и т. д.);
  - в) обеспечении возможности транспортирования и такелажирования РЭС (рым-болты, транспортировочные ручки, колеса и т. д.);
  - г) защите элементов РЭС от неблагоприятных воздействий окружающей среды (кожухи, футляры, крышки и т. д.).
- Несущие изделия дополнительно могут выполнять и другие функции, не связанные с восприятием механических усилий, например:
- д) обеспечивать электрическое соединение элементов РЭС (печатные платы);
  - е) экранировать элементы РЭС от внешних электромагнитных полей или внешнюю среду от электромагнитных излучений РЭС (металлические кожухи, футляры);



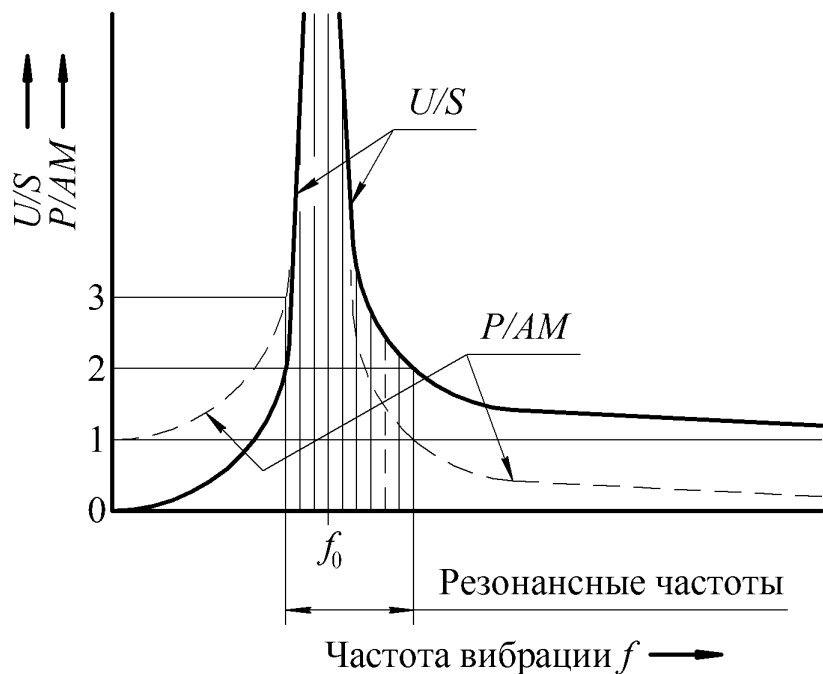
ж) придавать РЭС товарный внешний вид (кожухи, футляры и другие несущие изделия, поверхности которых выходят наружу).

В несущую систему могут быть включены также изделия или их части, выполнение функций а) – г) для которых является неосновным назначением (например, жесткие волноводы, электромагнитные экраны и т. д.). Несущие системы РЭС, выпускаемых относительно небольшими партиями, обычно строятся на основе базовых несущих конструкций (БНК).

Для выполнения функций а) – г) элементы несущей системы должны обладать механическими прочностью и жесткостью и воспринимать нагрузки, вызванные допустимыми ВВФ, без разрушения и значительных деформаций. Чтобы создать работоспособную несущую систему необходимо при проектировании анализировать механические ВВФ, сопутствующие транспортированию и эксплуатации РЭС, определять нагрузки на элементы несущей системы, вызываемые этими ВВФ, и устранять их вредное влияние. Величины нагрузок зависят от степени жесткости условий эксплуатации РЭС в части механических ВВФ. Стационарные бытовые или лабораторные РЭС эксплуатируются в легких условиях. После монтажа этих РЭС на месте использования их несущие системы испытывают только статические нагрузки от веса составных частей РЭС. Учесть такие нагрузки при проектировании несложно. Бортовые РЭС авиационной и космической техники, РЭС военной и гражданской техники, устанавливаемые на движущихся объектах, и т. д. эксплуатируются в жестких условиях. Нагрузки элементов их несущих систем вызываются динамическими ВВФ. В большинстве случаев разрушение элементов таких несущих систем является следствием усталости материала от периодических нагрузок, вызванных вибрацией или многократными ударами. Определение нагрузок в этом случае и их анализ представляет собой серьезную проблему при проектировании.

Конструкторы РЭС под условиями эксплуатации обычно понимают набор стандартных ВВФ, которым подвергается опытный образец РЭС на приемочных испытаниях, и принимают при проектировании технические решения с таким расчетом, чтобы избежать отказов на этих испытаниях. Поэтому значения нагрузок на элементы несущей системы целесообразно определять по характеристикам испытательных ВВФ, установленным в задании на проектирование. С этой целью любой нагруженный элемент несущей системы (шасси, панель и т. д.), подвергающийся вибрации или удару, удобно рассматривать как упругий элемент некоторой механической линейной колебательной системы с одной степенью свободы (далее – колебательный элемент), который сосредоточенной массой  $M$  и собственной частотой  $f_0$ . Присущие реальным колебательным системам потери энергии при вибрации обычно характеризуются одним из следующих показателей: относительным демпфированием  $b$ , добротностью  $Q$ , логарифмическим декрементом колебаний  $\nu$  [1]. Приближение частоты источника вибрации к собственной частоте такой колебательной системы сопровождается многократным увеличением амплитуды вынужденных колебаний этой системы. Частоты, на которых наблюдается увеличение амплитуды  $U$  колебаний

элемента РЭС в два раза и более по сравнению с амплитудой  $S$  внешнего воздействия, называются резонансными. Резонанс приводит к резкому увеличению нагрузок на несущие детали (рис. 1).



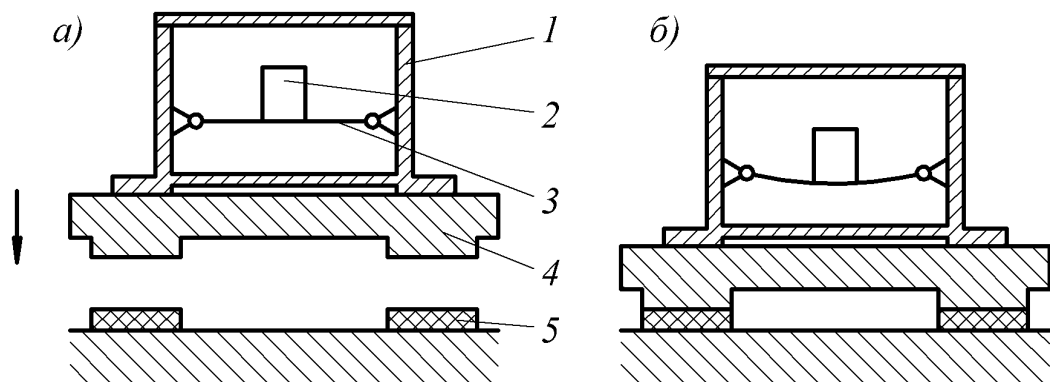
← Рис. 1. Зависимость отношения амплитуды  $U$  вынужденного перемещения колебательной системы к амплитуде  $S$  внешнего воздействия и зависимость отношения амплитуды  $P$  нагрузки на несущую деталь к произведению массы  $M$  и амплитуды  $A$  ускорения точек крепления несущей детали от частоты вибрации

Примечание. В теоретической механике резонансными называют частоты, соответствующие максимумам амплитудно-частотных характеристик [1]. Резонансная частота колебательной системы по стандарту [1] имеет только одно числовое значение, практически равное собственной частоте. Резонансные частоты (рис. 1) занимают некоторую область в окрестностях собственной частоты. Эту разницу в понятиях, обозначаемых термином «резонансная частота» в теоретической механике и технике испытаний РЭС, при использовании различных литературных источников и нормативных документов необходимо учитывать, иначе возможны ошибки.

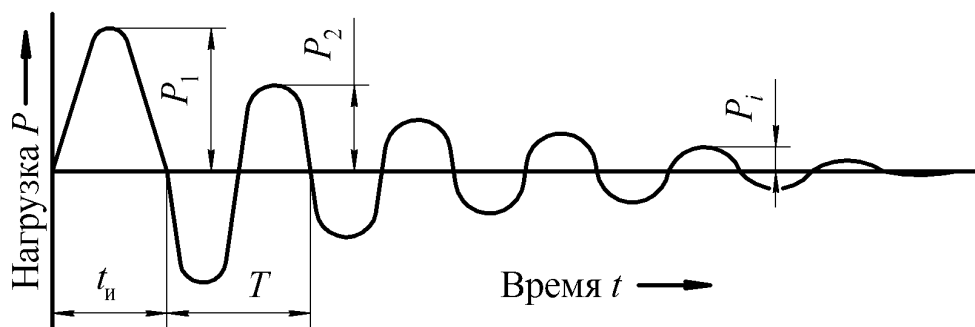
Методы определения нагрузок на несущие детали РЭС и расчетной оценки прочности вибрации рассмотрены в [2]. Для расчетной оценки прочности при воздействии многократных ударов следует использовать кривую усталости, построенную в соответствии с методикой, приведенной в этой работе. Основными исходными данными для расчета

являются значения расчетной нагрузки и эквивалентного числа циклов нагружения. Определить их можно следующим способом.

Испытания РЭС на многократные удары проводятся на стендах, использующих для получения удара падение платформы с испытываемым изделием на амортизирующие прокладки из резины, войлока и т. д. (рис. 2). Ударный импульс, который формируется при торможении платформы с изделием амортизирующей прокладкой имеет при таких испытаниях форму близкую к полусинусоидальной.



← Рис. 2. Схема испытаний РЭС на прочность при воздействии многократных ударов: а) падение платформы ударного стенда с испытываемым РЭС; б) торможение платформы стенда амортизирующей прокладкой для формирования ударного импульса; 1 – испытываемое РЭС; 2 – масса  $M$ ; 3 – несущая деталь; 4 – платформа; 5 – амортизирующая прокладка



← Рис. 3. Условная зависимость нагрузки на несущую деталь от времени при воздействии одиночного удара полусинусоидальным импульсом

Каждый удар сопровождается затухающей вибрацией элементов несущих систем на их собственных частотах, а значит и затухающими колебаниями нагрузки на эти элементы. Число циклов нагружения будет больше числа ударов. При

обосновании формулы для расчета эквивалентного числа циклов нагружения  $N_э$  элемента несущей системы РЭС при воздействии серии, состоящей из  $N_y$  ударов, используются следующие допущения:

текущая реакция на удар представляет собой процесс полусинусоидальной формы с амплитудой равной  $P_1$  (рис. 3) [3, стр. 41];

к началу очередного удара колебания, вызванные предыдущим ударом, прекратились;

значение нагрузки на несущую деталь изменяется по тому же закону, что и перемещения.

Эквивалентное число циклов нагружения  $N_э$  определяется по формуле [2]:

$$N_{э} = \sum_i \frac{P_i^m}{P_1^m} N_i, \quad (1)$$

где  $P_i$  – максимальное значение нагрузки на несущий элемент при  $i$ -том колебании;  $P_1$  – максимальное значение нагрузки;  $m$  – показатель наклона кривой усталости;  $N_i$  – число циклов нагружения с максимальной нагрузкой  $P_i$ ;  $i = 1, 2, 3 \dots$

Для серии ударов с одинаковым пиковым ускорением эта формула будет выглядеть так

$$N_{э} = N_y \sum_i \frac{P_i^m}{P_1^m}, \quad (2)$$

где  $N_y$  – количество ударов.

Из определения логарифмического декремента колебаний  $\nu$  [1] следует, что

$$\frac{P_{i+1}^m}{P_i^m} = e^{-\nu m}, \quad (3)$$

т. е. ряд значений  $P_i^m / P_1^m$  представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию, первый член которой  $P_1/P_1 = 1$ , а знаменатель –  $e^{-\nu m}$ . Сумма этой прогрессии [4, стр 273]

$$\sum_i \frac{P_i^m}{P_1^m} = \frac{1}{1 - e^{-vm}}. \quad (4)$$

Согласно [5, стр. 8] обычно для РЭС относительное демпфирование составляет  $b = 0,02 \dots 25$ . Так как показатели потерь связаны соотношениями [5, стр. 12]

$$2b = 1/Q = v/3,14, \quad (5)$$

то добротность  $Q = 2 \dots 25$ , а логарифмический декремент колебаний –  $v = 0,126 \dots 1,57$ . При  $v = 0,126$  и среднем значении  $m = 6,7$  [2] сумма (4) будет равна 1,86. При расчетах можно принять

$$N_3 = 2N_y. \quad (6)$$

Следует отметить, что при обычных наклонах кривой усталости разница в значениях  $N_3$  в два – три раза практически не влияет на точность определения предельных для элемента несущей системы напряжений и точность расчета на прочность.

Расчетная (максимальная) нагрузка  $P_1$  при ударе определяется по формуле

$$P_1 = (KA + g)M, \quad (7)$$

где  $K$  – коэффициент динамичности при ударе;  $A$  – пиковое ударное ускорение,  $\text{м/с}^2$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $M$  – масса колебательной системы, кг.

Коэффициент динамичности  $K$  зависит от относительной длительности импульса ударного ускорения  $t^*$ , которая определяется по формуле

$$t^* = t_n f_0 = t_n/T, \quad (8)$$

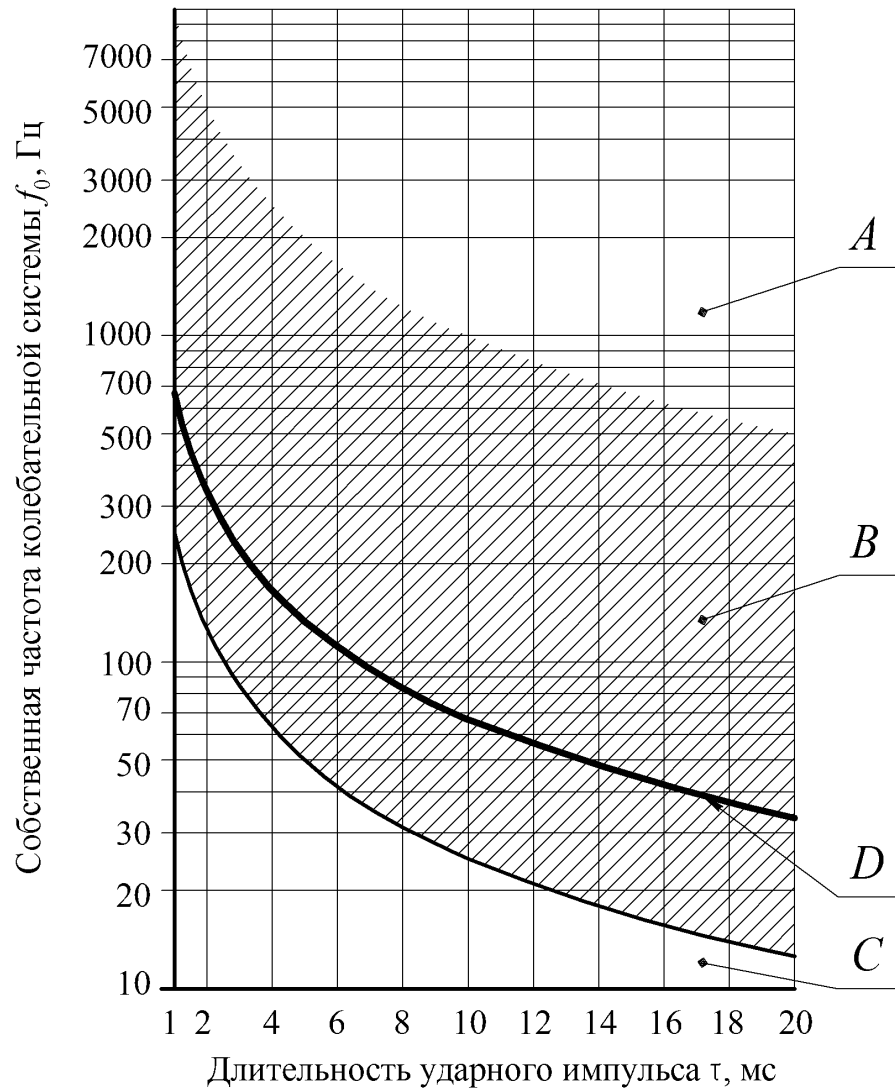
где  $t_n$  – длительность ударного импульса, с;  $T$  – период свободных колебаний колебательной системы, с.

Различают несколько основных видов реакции колебательной системы на удар, соответствующих амортизационному, резонансному и статическому режимам возбуждения. При ударе полусинусоидальным импульсом амортизационному режиму соответствует область значений  $t^* < 0,25$ , резонансному –  $0,25 < t^* < (5 \dots 10)$ , статическому –  $t^* > (5 \dots 10)$  [6, стр. 134]. Резонансный режим – самый тяжелый режим удара, сопровождающийся наибольшими нагрузками на элементы несущих систем. Максимальный коэффициент динамичности  $K_{max} = 1,7$  наблюдается при  $t^* = 0,67$  [7, стр. 109]. Обычная длительность импульса при стандартных испытаниях РЭС  $t_{и} = 5 \dots 20$  мс. Для несущих систем, собственные частоты элементов которых обычно лежат в пределах от 25 или 40 Гц до 300 Гц, такая длительность соответствует резонансному режиму (рис. 4). Расчетную нагрузку при резонансном режиме следует определять по формуле (7) при  $K = 1,7$ .

В статической области испытание на воздействие ударных ВВФ эквивалентно испытанию на воздействие линейного ускорения, равного пиковому ударному ускорению. Эту эквивалентность можно использовать при оценке прочности элементов несущих систем к ударам большой длительности. Например, к РЭС предъявляется требование по прочности к воздействию одиночных ударов с пиковым ускорением  $A = 60 \text{ м/с}^2$  и длительностью импульса  $t_{и} = 4$  с. При воздействии удара с полусинусоидальной формой импульса испытываемый объект перемещается по закону

$$x = X \sin (3,14/t_{и})t, \tag{9}$$

где  $x$  – мгновенное значение перемещения;  $X$  – амплитуда перемещения.



← Рис. 4. Режимы удара полусинусоидальным импульсом:  
*A* – область статического режима; *B* – область резонансного режима; *C* – область амортизационного режима; *D* – кривая, соответствующая максимальному коэффициенту динамичности

Ускорение в этом случае изменяется по закону

$$a = d^2x/dt^2 = - (3,14/t_n)2X \sin (3,14/t_n)t = - A \sin (3,14/t_n)t, \quad (10)$$

где  $a$  – мгновенное значение ускорения.

Из последнего выражения видно, что амплитуда ускорения, длительность удара и амплитуда перемещения связаны соотношением

$$X = A(t_n/3,14)^2 \quad (11)$$

Для заданных параметров удара амплитуда перемещения составит  $X = 60 \cdot (4/3,14)^2 = 96$  м. Очевидно, что проведение испытаний для проверки прочности при воздействии ударов с такой амплитудой перемещения технически трудноосуществимо. Если в изделии отсутствуют колебательные системы с резонансными частотами менее 25 Гц, то при длительностях  $t_n$  относительная длительность составит  $t^* = 100 \text{ min}$ , т. е. режим удара будет статическим. Это значит, что испытание или аналитическую оценку прочности при воздействии удара можно заменить испытанием или оценкой прочности при воздействии линейного ускорения, равного пиковому ударному. Расчетная нагрузка определяется по формуле (7) при значении  $K = 1$  (также как и при воздействии линейного ускорения).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24346 – 80. Вибрации. Термины и определения.
2. Бобков Н. М. Оценка усталостной прочности несущих деталей БНК при воздействии вибрации//Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1997, № 4.
3. Ленк А., Ренитц Ю. Механические испытания приборов и аппаратов. – М.: Мир, 1976.
4. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1986.
5. Карпушин В. Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. – М.: Советское радио, 1971.
6. Глудкин О. П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. – М.: Высш. шк., 1991.



7. Токарев М. Ф., Талицкий Е. Н., Фролов В. А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1984.
8. ГОСТ 23170 – 78. Упаковка для изделий машиностроения. Общие требования.
9. ГОСТ 23210 – 78. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, консервация, упаковка.
10. ГОСТ 11478 – 83. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Технические требования и нормы механических и климатических воздействий.
11. ГОСТ 16019 – 78. Радиостанции сухопутной подвижной службы. Требования по устойчивости к климатическим и механическим воздействиям и методы испытаний.
12. ГОСТ 22261 – 94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.
13. ГОСТ 18424 – 73. Упаковка. Метод определения ударозащитных свойств.
14. ГОСТ 12.2.006 – 87. Безопасность аппаратуры электронной сетевой и сходных с ней устройств, предназначенных для бытового и аналогичного общего применения. Общие требования и методы испытаний.
15. ГОСТ 26104 – 89. Средства измерений электронные. Технические требования в части безопасности. Методы испытаний.
16. ГОСТ Р 50267.0 – 92. Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности.
17. ГОСТ 25861 – 83. Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний.
18. ГОСТ 7396.0 – 89. Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного применения. Общие технические условия.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЭС В ЧАСТИ СТОЙКОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВВФ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

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

ГОСТ 30631 – 99 распространяется на все виды машин, приборов и других технических изделий (далее – изделия) и устанавливает общие технические требования по стойкости изделий к воздействию механических внешних воздействующих факторов (далее – механических ВВФ), в обобщенном виде отражающие условия эксплуатации.

В стандарте не установлены требования к изделиям, предназначенным для эксплуатации в летательных аппаратах, а также к изделиям объектов военной техники, обладающих собственным стрелковым вооружением.

### **3 Определения**

В ГОСТ 30631 – 99 применяют термины с соответствующими определениями и сокращениями:

**3.1 амплитудно-частотная характеристика конструкции (АЧХ):** Зависимость от частоты коэффициента усиления колебаний контрольной точки конструкции изделия относительно колебаний его основания в установившемся режиме колебаний.

**3.10 относительно неподвижное изделие:** Изделие, изделие которое при эксплуатации неподвижно относительно мест его крепления.

*Примечание* – Относительно неподвижное изделие может располагаться в подвижном объекте. Например, розетка в корпусе судна.

**3.11 относительно подвижное изделие:** Изделие, которое при эксплуатации может быть подвижным относительно мест его крепления. Например, дверь, телефонный шнур.

**3.12 передвижное изделие:** Изделие, эксплуатируемое при выполнении им основных функций в движении.

*Примечание* – Передвижные изделия и (или) оборудование для них могут работающими или неработающими в движении.

**3.13 перемещаемое (переносное, перевозимое) нестационарное изделие:** Изделие, часто перемещаемое без специальной упаковки, не монтируемое постоянно на каком-либо фундаменте и не размещаемое на одном фиксированном месте, причем общая продолжительность перемещений может составлять заметную долю срока службы. При этом перемещение не служит для выполнения изделием его основных функций.

**3.14 резонанс конструкции:** Явление увеличения амплитуды вынужденных колебаний конструкции изделия в два раза и более при постоянном внешнем воздействии, возникающее на частотах вибрационных нагрузок, близких к частоте собственных колебаний изделия.

**3.15 стационарное изделие:** Относительно неподвижное изделие, предназначенное для эксплуатации без перемещения его относительно мест крепления на земле или в земле.

**3.16 стационарное перевозимое изделие:** Изделие, эксплуатируемое при выполнении им основных функций как стационарное, но которое в течение срока службы может один или несколько раз быть перевезено на новое место установки.

**Примечание** – Примером стационарных перевозимых изделий является буровая установка и оборудование для нее.

**3.17 уровень вибрационных воздействий** (для стационарных и неработающих в движении перемещаемых изделий):

- незначительный – воздействие с максимальной амплитудой ускорения не более  $1,2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  ( $0,12 \text{ g}$ );
- незначительный I – то же, свыше  $1,2$  до  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $0,12$  до  $0,25 \text{ g}$ );
- малозначительный – то же, свыше  $2,5$  до  $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $0,25$  до  $0,5 \text{ g}$ );
- заметный – то же, свыше  $5$  до  $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $0,5$  до  $1 \text{ g}$ );
- высокий – то же, свыше  $10$  до  $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $1$  до  $2 \text{ g}$ );
- экстремально высокий – то же, свыше  $20$  до  $50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $2$  до  $5 \text{ g}$ );
- экстремально высокий специальный – то же, свыше  $50 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $5 \text{ g}$ ).

**3.20 уровень ударных воздействий** (для стационарных и неработающих в движении перемещаемых изделий):

- без ударов – воздействие с максимальной амплитудой ударного ускорения не более  $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  ( $1 \text{ g}$ );
- незначительный – то же, свыше  $10$  до  $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $1$  до  $4 \text{ g}$ );
- малозначительный – то же, свыше  $40$  до  $70 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $4$  до  $7 \text{ g}$ );
- заметный – то же, свыше  $70$  до  $100 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $7$  до  $10 \text{ g}$ );
- высокий – то же, свыше  $100$  до  $400 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $10$  до  $40 \text{ g}$ );
- очень высокий – то же, свыше  $400 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  (свыше  $40 \text{ g}$ ).

## 4 Общие требования

4.1 Изделия должны сохранять свои параметры в пределах норм, установленных в ТЗ, стандартах и ТУ на конкретные серии или типы изделий, в процессе и (или) после воздействия механических ВВФ, виды, значения и сочетания которых установлены настоящим стандартом.

Механические ВВФ считают приложенными к изделию в местах его крепления, если в пунктах настоящего стандарта нет иных требований.

4.2 Изделия разрабатывают по унифицированным или видовым группам исполнения изделий по воздействию механических ВВФ (далее – группы механического исполнения).

По унифицированным группам исполнения разрабатывают изделия, предназначенные для применения в технике различных видов. По видовым группам исполнения могут разрабатываться изделия, для которых реализация полного объема требований унифицированных групп исполнения технически и (или) экономически нецелесообразна, либо изделия, предназначенные для техники определенного вида.

4.3 Унифицированные и видовые группы механического исполнения в зависимости от места установки и области применения изделий выбирают по таблицам 1 – 5.

Группы механического исполнения, области их применения, номинальные и предельные рабочие значения механических ВВФ установлены в приложении Б.

Для неуказанных в приложении Б областей применения изделий требования по воздействию механических ВВФ устанавливаются по аналогии с приведенными в приложении Б. Изделия, удовлетворяющие требованиям какой-либо из групп, допускается применять в местах, указанных для других групп, если изделия удовлетворяют требованиям, приведенным для этих групп.

4.6 Группы механического исполнения изделий по настоящему стандарту, а также критерии отказа изделий устанавливаются в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия.

*Примечание* – Допустимые параметры изделия или временная потеря работоспособности и время этой потери работоспособности или отклонения параметров при воздействии одиночных ударных нагрузок по согласованию с заказчиком оговаривают в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия.

4.7 Если изделие (или группу изделий) разрабатывают только для конкретного объекта или группы объектов, где к изделиям предъявляют требования, специфические только для определенного назначения (например, для прецизионного станкостроения), и если по выполняемым функциям и характеристикам изделия пригодны только для данного объекта (группы объектов), то по согласованию с заказчиком требования, предъявляемые к изделию, могут отличаться от указанных в приложении Б, и должны устанавливаться исходя из условий работы изделия на указанном объекте (группе объектов).

4.8 При технико-экономическом обосновании, по согласованию между заказчиком и разработчиком, в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия могут устанавливаться более высокие требования по стойкости к отдельным видам механических ВВФ, а также требования, не указанные в настоящем стандарте.

4.9 Изделия, разработка которых по указанным в приложении Б требованиям по одному или нескольким механическим ВВФ по техническим причинам невозможна или нецелесообразна, могут по согласованию с заказчиком разрабатываться по менее жестким требованиям с учетом возможных мер индивидуальной или общей защиты в составе комплектного изделия или объекта: амортизация, специальная подвеска и т. п. При этом меры защиты должны обеспечивать возможность применения изделия, разработанного по пониженным требованиям (в частности, по группе исполнения, рассчитанной для менее жестких условий), в условиях, соответствующих заданной группе механического исполнения.

4.11 У изделий без амортизаторов или в их отдельных узлах и деталях в составе изделия не рекомендуется допускать наличие механических резонансов конструкции в диапазоне частот от 0,5 Гц до частоты, выбираемой из ряда 30, 40 или 100 Гц. Указанное требование не распространяется на кабели, провода и шнуры.

4.13 Изделия всех групп исполнения должны быть устойчивыми и (или) прочными к механическим ВВФ любого пространственного направления, если это указано в ТЗ, стандартах и ТУ на изделие. В других случаях изделия видового исполнения по согласованию с заказчиком допускается разрабатывать устойчивыми и (или) прочными к одному или двум пространственным направлениям, о чем должно быть указано в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия.

4.14 К изделиям, предназначенным для эксплуатации на морских судах, предъявляют требования по стойкости к крену судна на  $15^\circ$  и дифференту  $5^\circ$ , а также к бортовой качке до  $22,5^\circ$  с периодом 7 – 9 с и килевой – до  $10^\circ$  с периодом 5 – 7 с. Изделия, предназначенные для аварийного оборудования, должны быть стойкими к длительному крену до  $22,5^\circ$  и дифференту  $10^\circ$ .

Изделия должны выдерживать одновременно крен и дифферент в указанных выше пределах.

Таблица 1 – Выбор унифицированных групп механического исполнения в зависимости от места установки стационарных изделий

| Место установки  | Группа механического исполнения при размещении изделий<br>(уровне вибрационных воздействий)   |   |   |   |  |
|--|---|---|---|---|--|
|  | на фундаментах, специально развязанных от внешних механических воздействий; в других производственных помещениях и местах, подлежащих постоянному нахождению обслуживающего персонала; в капитальных лабораториях и других подобного типа помещениях (незначительный уровень) | там же, что по графе 2, но при более высоком уровне вибрационных воздействий (незначительный уровень 1) | на обычных фундаментах (малозначительный уровень) | вблизи мощных машин с вращающимися частями (заметный уровень) | на фундаментах мощных машин с вращающимися частями (высокий уровень) |
| 1 Непосредственно на строительных конструкциях (например, стенах, потолках, фундаментах, перекрытиях, колоннах, фермах):<br>– без источников ударных воздействий, расположенных в том же помещении<br>– с источниками ударных воздействий незначительного уровня, расположенных в том же помещении<br>– при наличии ударных воздействий: малозначительного уровня (например, от местных взрывных работ, забивки свай, близко расположенных хлопающих дверей заметного уровня (например, от частых пусков – остановок мощных машин) | M13   | M39   | M1   M2   | M6  | M6   |
|  | M38   | M40   | M3   M4   | M7  | M7   |
|  | –   | –   | M42   | –   | –  |
|  | –   | –   | –   | M13   | –  |
| 2 В комплектных изделиях в качестве встроенных элементов или на промежуточных конструкциях (например, в шкафах, на щитах, панелях, пультах, трубопроводах, арматуре), подверженных воздействиям по группе, указанной в п. 1:<br>– без источников ударных воздействий<br>– с источниками ударных воздействий незначительного уровня   | M39   | M2  | M6  | M6  | M5   |
|  | M40   | M4  | M7  | M7  | M41  |

Таблица 2 – Выбор групп механического исполнения для передвижных изделий

| Место размещения  |   | Группа механического исполнения для изделий |                       |
|---|---|---|-----------------------|
| Определение   | Дополнительный признак  | не работающих в движении                    | работающих в движении |
| На тракторах  | –   | M1  | M1                    |
| На строительно-дорожных машинах (кроме вибрационных)                                | –   | M1  | M1                    |
| На вибрационных строительно-дорожных машинах  | –   | M17   | M17                   |
| На грузоподъемных кранах  | При внешних вибрациях: до 35 Гц   | M3  | M3                    |
|   | свыше 35 Гц   | M4  | M4                    |
| В передвижных наземных безрельсовых установках, самоходных и прицепах <sup>1)</sup> | При массе установок (прицепов) соответственно:<br>– 14 (6) т и выше, менее 14 (6) т: при ограничении скорости движения не более 30 км/ч; без ограничения скорости движения для установок, специально предназначенных для районов с хорошо развитой дорожной сетью; при размещении на приборных панелях пассажирского автотранспорта | M32   | M31                   |
|   | – менее 14 (6) т <sup>2)</sup>  | M18   | M30                   |
|   | – при малой массе при допустимых скоростях движения более 30 км/ч (например, на мотоциклах, мотороллерах)   | –   | M45                   |
| В городском и промышленном наземном безрельсовом электротранспорте                  | –   | –   | M28                   |
| На передвижных установках аэродромного обслуживания                                 | –   | M24   | M44                   |

Окончание табл. 2

| Место размещения   |  | Группа механического исполнения для изделий |                       |
|--|--|---|-----------------------|
| Определение  | Дополнительный признак   | не работающих в движении                    | работающих в движении |
| В передвижных наземных рельсовых установках, самоходных и несамоходных | В кузовах и под кузовами транспортных средств железнодорожного транспорта (в т. ч. промышленного)                | M25   | M25                   |
|  | На тележках транспортных средств железнодорожного транспорта (в т. ч. промышленного) для обрессоренных изделий   | M26   | M26                   |
|  | На тележках транспортных средств железнодорожного транспорта (в т. ч. промышленного) для необрессоренных изделий | M27   | M27                   |
|  | В городском рельсовом транспорте   | M29   | M29                   |
| На судах с собственными энергетическими установками                    | На катерах и других судах водоизмещением менее 1000 т, на судах на подводных крыльях и воздушной подушке         | M46   | M46                   |
|  | На других судах  | M3  | M3                    |
| На поршневых (дизельных и других внутреннего сгорания) двигателях      | —  | M37   | M37                   |

<sup>1)</sup> Кроме изделий, относящихся к группам M1, M3, M4, M17.  
<sup>2)</sup> Кроме изделий, относящихся к группам M24, M28, M44, M45.



Таблица 3 – Выбор групп механического исполнения для перемещаемых (переносных, перевозимых) нестационарных изделий

| Место размещения   |  | Группа механического исполнения для изделий |                       |
|--|--|---|-----------------------|
|  |  | не работающих в движении                    | работающих в движении |
| Определение  | Дополнительный признак   |   |                       |
| Осторожное манипулирование и перемещение людьми; работа в местах с малозначительными вибрациями; перевозка хорошо амортизированными видами транспорта, например, самолетами, судами, железнодорожным транспортом, трамваями, безрельсовым наземным транспортом (городским и перечисленным в группах М31 и М32)   | Непосредственное применение  | М23   | М21                   |
|  | Применение в качестве встроенных элементов в комплектных изделиях, указанных в предыдущей строке | М24, М12 <sup>1)</sup>                      | М22                   |
| Многократное манипулирование и перемещение людьми; работа в местах с заметным уровнем вибрации и малозначительным уровнем ударов, перевозка транспортом, перечисленным в группах М18 и М30, если предусмотрено обязательное закрепление к кузову транспортного средства  | –  | М20   | М19                   |
| Жесткое манипулирование и перемещение людьми; работа в местах с высоким уровнем вибраций и заметным уровнем ударов; перевозка транспортом, перечисленным в группах М18 и М30   | При массе изделия, кг: менее 50  | М34   | М34                   |
|  | от 50 до 75  | М33   | М33                   |
|  | « 75 « 200   | М47   | М47                   |
|  | « 200 « 1000   | М23   | –                     |
| <p><sup>1)</sup> При возможности экстремально высоких собственных вибраций комплектных изделий и (или) частых пусков-остановок.</p> <p>П р и м е ч а н и е – К изделиям, указанным в настоящей таблице, дополнительно предъявляются требования по воздействию опрокидывания. Количество воздействий устанавливают в стандартах и ТУ на изделия конкретных серий и типов.</p> |  |   |                       |

## Из приложения Б к ГОСТ 30631 – 99

| Группа механического исполнения | Синусоидальная вибрация |   |                   | Удары одиночного действия                      |  |                   | Удары многократного действия                   |  |                   |
|---------------------------------|-------------------------|---|-------------------|--|--|-------------------|--|--|-------------------|
|                                 | Диапазон частот, Гц     | Максимальная амплитуда ускорения м/с <sup>2</sup> (g) | Степень жесткости | Пиковое ударное ускорение м/с <sup>2</sup> (g) | Длительность действия ударного ускорения, мс | Степень жесткости | Пиковое ударное ускорение м/с <sup>2</sup> (g) | Длительность действия ударного ускорения, мс | Степень жесткости |
| M13                             | 0,5 – 500               | 1,2 (0,12)  | 7                 | –  | –  | –                 | –  | –  | –                 |
| M18                             | 200 – 500 <sup>1)</sup> | 50 (5) <sup>1)</sup>                                  | 21a               | –  | –  | –                 | 150 (15)                                       | 2 – 20                                       | 4                 |
|                                 | 0,5 – 200 <sup>1)</sup> | 20 (2) <sup>1)</sup>                                  |                   |  |  |                   |  |  |                   |
|                                 | 0,5 – 100 <sup>2)</sup> | 5 (0,5) <sup>2)</sup>                                 | 9                 |  |  |                   |  |  |                   |
| M30                             | 200 – 500               | 50 (5)  | 21                | 200 (20)                                       | 2 – 15                                       | 4a                | 150 (15)                                       | 2 – 20                                       | 4                 |
|                                 | 0,5 – 200               | 20 (2)  |                   |  |  |                   |  |  |                   |
| M31                             | 0,5 – 200               | 20 (2)  | 14a               | –  | –  | –                 | 100 (10)                                       | 2 – 20                                       | 3                 |
| M32                             | 0,5 – 200 <sup>1)</sup> | 20 (2) <sup>1)</sup>                                  | 14б               | –  | –  | –                 | 100 (10)                                       | 2 – 20                                       | 3                 |
|                                 | 0,5 – 100 <sup>2)</sup> | 5 (0,5) <sup>2)</sup>                                 | 9                 |  |  |                   |  |  |                   |
| M45                             | 200 – 500               | 50 (5)  | 20в               | 750 (75)                                       | 2 – 6  | 6                 | 150 (15)                                       | 2 – 20                                       | 4                 |
|                                 | 0,5 – 200               | 20 (2)  |                   |  |  |                   |  |  |                   |
| M46                             | 0,5 – 200               | 20 (2)  | 14                | –  | –  | –                 | 150 (15)                                       | 2 – 20                                       | 3                 |

<sup>1)</sup> Требование только по прочности.  
<sup>2)</sup> Требование по устойчивости.

Область применения группы M13:

непосредственно на фундаментах, специально развязанных от внешних механических воздействий, а также строительных конструкциях, колоннах производственных помещений, находящихся на таких фундаментах;

в других производственных помещениях в местах, подлежащих постоянному нахождению обслуживающего персонала;

в капитальных лабораториях, жилых и других подобного типа помещениях;

в местах установки щитов, пультов и шкафов контроля, теплорегулирующих и контрольных приборов металлургического производства;

в помещениях центральных (главных) щитов управления, релейных, блочных, групповых щитов электростанций и подстанций, местах установки в этих помещениях теплорегулирующих и контрольных приборов при отсутствии ударных нагрузок.

Область применения группы М18:

в передвижных или стационарных перевозимых безрельсовых комплектных изделиях (например, буровых установках), не работающих в движении (самоходных массой менее 14 т или прицепах массой менее 6 т).

Область применения группы М30:

в передвижных безрельсовых комплектных изделиях (например, в кузовах автомобилей, прицепах), в т. ч. Для установки на приборных панелях, на которые может передаваться высокочастотная вибрация от двигателя, работающих в движении, кроме изделий, относящихся к группам М28, М31, М45.

Область применения группы М31:

в передвижных безрельсовых комплектных изделиях (самоходных массой 14 т и выше или прицепах массой 6 т и выше, массой соответственно менее 14 т или 6 т, но имеющих ограничение скорости движения не более 30 км/ч, не имеющих таких ограничений, но специально предназначенных для районов с хорошо развитой дорожной сетью или для установки на приборных панелях пассажирского автотранспорта, на которые может передаваться высокочастотная вибрация от двигателя), работающих в движении.

Область применения группы М32:

в передвижных или стационарных перевозимых безрельсовых комплектных изделиях (самоходных массой 14 т и выше или прицепах массой 6 т и выше, массой соответственно менее 14 т или 6 т, но имеющих ограничение скорости движения не более 30 км/ч; не имеющих таких ограничений, но специально предназначенных для районов с хорошо развитой дорожной сетью), неработающих в движении.

Область применения группы М45:

на мотоциклах, мотороллерах и других передвижных самоходных транспортных средствах с малой массой при допустимых скоростях движения более 30 км/ч.

Область применения группы М46:

на катерах и других судах водоизмещением менее 1000 т с собственными энергетическими установками, судах на подводных крыльях и воздушной подушке.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЭС В ЧАСТИ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

(Из ГОСТ Р 51908 – 2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования)

ГОСТ Р 51908 – 2002 распространяется на машины, приборы и другие технические изделия всех видов (далее – изделия) и устанавливает общие требования к условиям их хранения и транспортирования до ввода в эксплуатацию. Стандарт не распространяется на межоперационное хранение в цехах изготовителя.

Условия транспортирования в зависимости от воздействия механических факторов указаны в таблице 1.

Таблица 1

| Наименование условий транспортирования и их обозначение | Характеристики условий транспортирования  |
|---|---|
| Очень легкие ОЛ   | <p>Перевозки без перегрузок (1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– железнодорожным транспортом;</li> <li>– автомобильным транспортом – транспортными средствами с пневматическим демпфированием – по дорогам с асфальтовым и бетонным покрытиями на расстояние до 1000 км.</li> </ul> <p>Перевозки транспортом различного вида:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– воздушным или железнодорожным транспортом совместно с автомобильным, отнесенные к настоящим условиям, с общим числом перегрузок не более двух, если при перегрузках обеспечено выполнение требований, соответствующих манипуляционному знаку «Осторожно. Хрупкое» по ГОСТ 14192.</li> </ul> |
| Легкие Л (2)  | <p>Перевозки без перегрузок или общим числом перегрузок не более двух железнодорожным и автомобильным транспортом по дорогам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– с асфальтовым и бетонным покрытиями на расстояние до 200 км;</li> <li>– булыжным и грунтовым на расстояние до 50 км со скоростью до 40 км/ч.</li> </ul> <p>Перевозки транспортом различного вида:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– воздушным или железнодорожным транспортом совместно с автомобильным, отнесенным к условиям транспортирования Л с общим числом перегрузок от трех до четырех, или к настоящим условиям транспортирования.</li> </ul>                                       |

Окончание табл. 1

| Наименование условий транспортирования и их обозначение  | Характеристики условий транспортирования  |
|--|---|
| Средние С (2)  | <p>Перевозки автомобильным транспортом с общим числом перегрузок не более четырех по дорогам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– асфальтовым и бетонным покрытиями на расстояние от 200 до 1000 км;</li> <li>– булыжным и грунтовым на расстояние от 50 до 250 км со скоростью до 40 км/ч.</li> </ul> <p>Перевозки транспортом различного вида:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– с общим числом перегрузок от трех до четырех воздушным, железнодорожным транспортом в сочетании их между собой и с автомобильным транспортом, отнесенные к условиям транспортирования Л или к настоящим условиям транспортирования;</li> <li>– водным путем (кроме моря) совместно с перевозками, отнесенными к условиям транспортирования Л с общим числом перегрузок не более четырех.</li> </ul>  |
| Жесткие Ж  | <p>Перевозки автомобильным транспортом с любым числом перегрузок по дорогам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– с асфальтовым и бетонным покрытием на расстояние свыше 1000 км;</li> <li>– булыжным и грунтовым на расстояние свыше 250 км со скоростью до 40 км/ч или на расстояние до 250 км с большей скоростью, которую допускает транспортное средство.</li> </ul> <p>Перевозки транспортом различного вида:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– с общим числом перегрузок более четырех воздушным, железнодорожным транспортом и водным путем (кроме моря) в сочетании их между собой и с автомобильным транспортом, отнесенные к условиям транспортирования Л и С или к настоящим условиям транспортирования.</li> </ul> <p>Перевозки водным путем (кроме моря) совместно с перевозками, отнесенными к условиям транспортирования С с любым числом перегрузок.</p> <p>Перевозки, включающие в себя транспортирование морем с ненормируемым числом перегрузок.</p> |
| <p><b>Примечания</b></p> <p>1 Однократная погрузка у изготовителя и однократная выгрузка у получателя не входят в понятие «перегрузка».</p> <p>2 К условиям Л и С могут быть отнесены перевозки гужевым транспортом, на аэросанях, санных прицепах к тракторам на расстояния, установленные для перевозок автомобильным транспортом.</p> |   |

## **ИСПЫТАНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ**

(Из ГОСТ Р 51909 – 2002 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение)

5.6.1.1 Изделия массой до 200 кг в упаковке, предназначенной для транспортирования, испытывают на ударную прочность методом 104-1 по ГОСТ Р 51371 со следующими уточнениями. Изделия в упаковке жестко крепят на платформе ударного стенда и подвергают воздействию ударов по нормам, указанным в таблице 3. Каждое из испытываемых изделий подвергают последовательному воздействию всех ускорений, указанных в таблице 3 для данной группы изделий по массе. Последовательность испытаний при воздействии ударов с различными ускорениями для каждого условия транспортирования не устанавливают. Допускаются перерывы между испытаниями при условии сохранения общего числа ударов. Допускается вместо указанного метода проводить испытания методом, установленным для изделий массой свыше 200 кг.

5.6.1.2 Испытания изделий массой свыше 200 кг с упаковкой проводят перевозкой на автомашинах по булыжным или грунтовым дорогам на расстояние 50, 250 или 2000 км для условий транспортирования Л, С или Ж соответственно (по ГОСТ Р 51908). Допускается перевозка по дорогам с асфальтовым покрытием на расстояние 200, 1000 или 10000 км соответственно. Для условий транспортирования ОЛ (по ГОСТ Р 51908) испытания проводят перевозкой на автомашинах с пневматическим демпфированием по дорогам с асфальтовым покрытием на расстояние 1000 км. В технических заданиях, стандартах, ТУ на изделия или программах испытаний должны быть указаны скорость движения, способ крепления и степень загрузки автомашину.

Допускается вместо указанного метода проводить испытания методом, установленным для изделий массой до 200 кг, при этом изделия подвергают воздействию вертикальных нагрузок с ускорением и числом ударов, указанными в таблице 3. Необходимость воздействия горизонтальных (продольных и поперечных) нагрузок определяют в стандартах и ТУ на изделие или программе испытаний.

Таблица 3

| Масса изделия в упаковке,<br>кг  | Режим испытаний           |                  |  |   |      |     |     |
|--|---------------------------|------------------|--|---|------|-----|-----|
|  | Пиковое ударное ускорение |                  | Длительность действия ударного ускорения, мс | Число ударов, тыс., для условий транспортирования по ГОСТ Р 51908 |      |     |     |
|  | g                         | м/с <sup>2</sup> |  | Л   | С    | Ж   | ОЛ  |
| При воздействии вертикальных нагрузок  |                           |                  |  |   |      |     |     |
| До 50  | 75                        | 750              | 2 – 6  | 0,04  | 0,2  | 2   | –   |
|  | 15                        | 150              | 5 – 20                                       | 0,40  | 2,0  | 20  | –   |
|  | 10                        | 100              | 5 – 20                                       | 2,00  | 8,8  | 88  | 2   |
|  | 8                         | 80               | 2 – 20                                       | –   | –    | –   | 9   |
| Св. 50 до 75   | 50                        | 500              | 2 – 6  | 0,04  | 0,2  | 2   | –   |
|  | 15                        | 150              | 5 – 20                                       | 0,40  | 2,0  | 20  | –   |
|  | 10                        | 100              | 5 – 20                                       | 2,00  | 8,8  | 88  | 2   |
|  | 8                         | 80               | 2 – 20                                       | –   | –    | –   | 9   |
| Св. 75 до 200  | 20                        | 200              | 5 – 20                                       | 0,04  | 0,2  | 2   | –   |
|  | 15                        | 150              | 5 – 20                                       | 0,40  | 2,0  | 20  | –   |
|  | 10                        | 100              | 5 – 20                                       | 2,00  | 8,8  | 88  | 2   |
|  | 8                         | 80               | 2 – 20                                       | –   | –    | –   | 9   |
| Св. 200 до 1000  | 8                         | 80               | 2 – 20                                       | 2,2   | 11,0 | 110 | 2   |
|  | 5                         | 50               | 2 – 20                                       | –   | –    | –   | 9   |
| При воздействии горизонтальных продольных нагрузок   |                           |                  |  |   |      |     |     |
| До 200   | 12                        | 120              | 5 – 20                                       | 0,04  | 0,2  | 2   | –   |
|  | 8                         | 80               | 2 – 20                                       | –   | –    | –   | 0,2 |
| При воздействии горизонтальных поперечных нагрузок   |                           |                  |  |   |      |     |     |
| До 200   | 12                        | 120              | 5 – 20                                       | 0,04  | 0,2  | 2   | –   |
|  | 8                         | 80               | 2 – 20                                       | –   | –    | –   | 0,2 |
| <p><b>Примечания</b></p> <p>1 Изделия, для которых в стандартах или ТУ нормировано крепление к кузову транспортного средства, воздействию ускорений 750, 500 и 200 м/с<sup>2</sup> (75, 50 и 20 g) не подвергают.</p> <p>2 Испытания рекомендуется проводить при частоте 40 – 120 ударов в минуту.</p> <p>3 Испытания проводят при одном значении длительности ударного ускорения, лежащем в указанных в таблице пределах.</p> <p>4 В настоящем стандарте значение ускорения свободного падения округлено до 10 м/с<sup>2</sup>.</p> |                           |                  |  |   |      |     |     |



## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЭС В ЧАСТИ СТОЙКОСТИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ВВФ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

(Из ГОСТ 15150 – 99 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды)

ГОСТ 15150 – 69 распространяется на все виды машин, приборов и других технических изделий (в дальнейшем – изделия) и устанавливает макроклиматическое районирование земного шара, исполнения, категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования изделий в части воздействия климатических факторов внешней среды.

Стандарт не устанавливает значения климатических факторов для изделий, предназначенных для Антарктиды.

### 2. Климатические исполнения и категории изделий

2.1. Изделия предназначают для эксплуатации в одном или нескольких макроклиматических районах и изготавливают в климатических исполнениях, указанных в табл. 1.

Несколько макроклиматических районов могут быть объединены в группу макроклиматических районов (например, УХЛ, Т).

Таблица 1

| Климатические исполнения изделий   | Обозначения |           |           |
|--|-------------|-----------|-----------|
|  | буквенные   |           | Цифровые* |
|  | русские     | латинские |           |
| <b>Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах</b>            |             |           |           |
| Для макроклиматического района с умеренным климатом                                | У           | (N)       | 0         |
| Для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом                     | УХЛ***      | (NF)      | 1         |
| Для макроклиматического района с влажным тропическим климатом**                    | ТВ          | (TH)      | 2         |
| Для макроклиматического района с сухим тропическим климатом**                      | ТС          | (TA)      | 3         |
| Для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом** | Т           | (T)       | 4         |

Окончание табл. 1

| Климатические исполнения изделий   | Обозначения |           |           |
|--|-------------|-----------|-----------|
|  | буквенные   |           | Цифровые* |
|  | русские     | латинские |           |
| Для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение)<br><b>Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом</b> | О           | (U)       | 5         |
| Для макроклиматического района с умеренно-холодным морским климатом  | М           | (M)       | 6         |
| Для макроклиматического района с тропическим морским климатом, в том числе для судов каботажного плавания, или иных, предназначенных для плавания только в этом районе   | ТМ          | (MT)      | 7         |
| Для макроклиматических районов как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом, в том числе для судов неограниченного района плавания  | ОМ          | (MU)      | 8         |
| <b>Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение)</b>  | В           | (W)       | 9         |

\* Цифровые обозначения применяют только для обработки данных на цифровых вычислительных машинах и не применяют для маркировки. Русские обозначения исполнений изделий применяют для обозначения соответствующего макроклиматического района (группы макроклиматических районов) и соответствующего ему климата (климатов).

\*\* Указанные исполнения могут быть обозначены термином «тропическое исполнение».

\*\*\* Если основным назначением изделия является эксплуатация в районе с холодным климатом и экономически нецелесообразно их использование вне пределов этого района, вместо обозначения УХЛ рекомендуется обозначение ХЛ (F).

2.7. Изделия в исполнениях по п. 2.2 в зависимости от места размещения при эксплуатации в воздушной среде на высотах до 4300 м (в том числе под землей и под водой) изготавливают по категориям размещения изделий (в дальнейшем – категориям изделий), указанным в табл. 2.

Таблица 2

| Укрупненные категории  |             | Дополнительные категории  |             |
|--|-------------|---|-------------|
| Характеристика   | Обозначение | Характеристика  | Обозначение |
| Для эксплуатации на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного макроклиматического района)   | 1           | Для хранения в процессе эксплуатации в помещениях категории 4 и для работы как в условиях категории 4, так и (кратковременно) в других условиях, в том числе на открытом воздухе  | 1.1         |
| Для эксплуатации под навесом или в помещениях (объемах), где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, например, в палатках, кузовах, прицепах, металлических помещениях без теплоизоляции, а также в оболочке комплектного изделия категории 1 (отсутствие прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков) | 2           | Для эксплуатации в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий категорий 1; 1.1; 2, конструкция которых исключает возможность конденсации влаги на встроенных элементах (например, внутри радиоэлектронной аппаратуры) | 2.1         |

Продолжение табл. 2

| Укрупненные категории   |             | Дополнительные категории  |             |
|---|-------------|---|-------------|
| Характеристика  | Обозначение | Характеристика  | Обозначение |
| Для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе, например, в металлических с теплоизоляцией, каменных, бетонных, деревянных помещениях (отсутствие воздействия атмосферных осадков, прямого солнечного излучения; существенное уменьшение ветра; существенное уменьшение или отсутствие воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги) | 3           | Для эксплуатации в нерегулярно отапливаемых помещениях (объемах)                            | 3.1         |
| Для эксплуатации в помещениях (объемах) с искусственно регулируемыми климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других, в том числе хорошо вентилируемых подземных помещениях (отсутствие воздействия прямого солнечного излучения, атмосферных осадков, ветра, песка и пыли наружного воздуха; отсутствие или существенное уменьшение воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги)  | 4           | Для эксплуатации в помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом | 4.1         |
|   |             | Для эксплуатации в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях       | 4.2         |

Окончание табл. 2

| Укрупненные категории  |             | Дополнительные категории  |             |
|--|-------------|---|-------------|
| Характеристика   | Обозначение | Характеристика  | Обозначение |
| Для эксплуатации в помещениях (объемах) с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в том числе шахтах, подвалах в почве, в таких судовых, корабельных и других помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке, в частности, в некоторых трюмах, в некоторых цехах текстильных, гидromеталлургических производств и т. п.). | 5           | Для эксплуатации в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий категорий 5, конструкция которых исключает возможность конденсации влаги на встроенных элементах (например, внутри радиоэлектронной аппаратуры) | 5.1         |
| <p>Примечание. Не изготавливают изделия видов климатических исполнений У4 и ХЛ4; У4.1 и ХЛ4.1; У4.2 и ХЛ4.2; Т4; Т4.1; Т4.2; ТС2.1; О3; О3.1, так как изделия этих видов климатических исполнений удовлетворяют требованиям, предъявляемым к изделиям следующих видов климатических исполнений соответственно: УХЛ4; УХЛ4.1; УХЛ2.2; О4; О4.1; О4.2; ТС2; В3; В3.1.</p>  |             |   |             |

### 3 Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации и испытаниях

3.2 Значения температуры окружающего воздуха приведены в табл. 3.

Таблица 3

| Исполнения изделий | Категории изделий         | Значения температуры воздуха при эксплуатации, °С |                 |                    |                 |
|--------------------|---------------------------|---|-----------------|--------------------|-----------------|
|                    |                           | Рабочие   |                 | Предельные рабочие |                 |
|                    |                           | верхнее значение                                  | нижнее значение | верхнее значение   | нижнее значение |
| УХЛ                | 1; 1.1; 2; 2.1; 3         | +40   | -60             | +45                | -70             |
|                    | 3.1                       | +40   | -10             | +45                | -10             |
|                    | 4                         | +35   | +1              | +40                | +1              |
|                    | 4.1                       | +25   | +10             | +40                | +1              |
|                    | 4.2                       | +35   | +10             | +40                | +1              |
|                    | 5; 5.1                    | +35   | -10             | +35                | -10             |
| О                  | 1; 1.1; 2; 2.1            | +50   | -60             | +60                | -70             |
|                    | 4                         | +45   | +1              | +55                | +1              |
|                    | 4.1                       | +25   | +10             | +40                | +1              |
|                    | 4.2                       | +45   | +10             | +45                | +1              |
|                    | 5; 5.1                    | +35   | -10             | +35                | -10             |
| ОМ                 | 1; 1.1; 2; 2.1; 3; 5; 5.1 | +45   | -40             | +45                | -40             |
|                    | 4; 3.1                    | +45   | -10             | +45                | -10             |
|                    | 4.1                       | +35   | +15             | +40                | +1              |
|                    | 4.2                       | +40   | +1              | +40                | +1              |
| В                  | 1; 1.1; 2; 2.1; 3         | +50   | -60             | +60                | -70             |
|                    | 3.1                       | +50   | -10             | +60                | -10             |
|                    | 4                         | +45   | -10             | +55                | -10             |
|                    | 4.1                       | +25   | +10             | +40                | +1              |
|                    | 4.2                       | +45   | +1              | +45                | +1              |
|                    | 5; 5.1                    | +45   | -40             | +45                | -40             |

3.6 Рабочие значения влажности воздуха (сочетания относительной влажности и температуры) приведены в табл. 4

Таблица 4

| Исполнение изделия  | Категория изделия | Относительная влажность |                  | Абсолютная влажность, среднегодовое значение, г/м <sup>3</sup> |
|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------|--|
|                     |                   | Среднегодовое значение  | Верхнее значение |  |
| УХЛ                 | 4; 4.1; 4.2       | 60 % при 20 °С          | 80 % при 25 °С   | 10   |
| У, УХЛ (ХЛ)         | 1; 2              | 80 % при 15 °С          | 100 % при 25 °С  | 11   |
| ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ | 1; 2; 5           | 80 % при 27 °С          | 100 % при 35 °С  | 20   |
|                     | 1.1               | 70 % при 27 °С          | 98 % при 35 °С   | 17   |
|                     | 2.1; 5.1          | 80 % при 27 °С          | 98 % при 35 °С   | 20   |
| ТВ, Т, В, ТМ, ОМ    | 3                 | 70 % при 27 °С          | 98 % при 35 °С   | 17   |
|                     | 3.1               | 70 % при 27 °С          | 98 % при 35 °С   | 17   |
| ТВ, Т, В, ТМ, ОМ    | 4                 | 70 % при 27 °С          | 98 % при 35 °С   | 17   |
|                     | 4.1               | 60 % при 20 °С          | 80 % при 25 °С   | 10   |
|                     | 4.2               | 70 % при 27 °С          | 98 % при 35 °С   | 17   |

## 10 Условия хранения и транспортирования изделий в части воздействия климатических факторов внешней среды

10.1. Условия хранения изделий, определяемые местом их расположения, макроклиматическим районом и типом атмосферы, и характеризующиеся совокупностью климатических факторов, воздействующих при хранении на упакованные и (или) законсервированные изделия приведены в табл. 13.

Таблица 13. Условия хранения изделий

| Условия хранения  | Обозначение условий хранения |                 | Климатические факторы  |                 |   |                     |   |      |                                     |   |
|---|------------------------------|-----------------|--|-----------------|---|---------------------|---|------|-------------------------------------|---|
|   |                              |                 | Температура воздуха, °С  |                 | Относительная влажность воздуха по табл. 3 для климатического исполнения вида | Солнечное излучение | Интенсивность дождя, верхнее значение, мм/мин | Пыль | Плесневые и дереворазрушающие грибы |   |
|   | Основное                     | Вспомогательное | верхнее значение   | нижнее значение |   |                     |   |      |                                     |   |
|   |                              | буквенное       | текстовое  |                 |   |                     |   |      |                                     |   |
| Отапливаемые и вентилируемые склады, хранилища с кондиционированием воздуха, расположенные в любых макроклиматических районах<br>Хранилища с регулируемой влажностью<br>Хранилища с регулируемой температурой и влажностью  | 1                            | Л               | Отапливаемые хранилища   | +40             | +5  | УХЛ4                | –   | –    | Н                                   | – |
|   | 1.1                          | –               | Хранилища с регулируемой влажностью  | +50             | –60   | См. примечание      | –   | –    | Н                                   | – |
|   | 1.2                          | –               | Хранилища с регулируемой температурой и влажностью   | +15             | –15   | То же               | –   | –    | Н                                   | – |
| Навесы или помещения, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе (например, палатки, металлические хранилища без теплоизоляции и т. п.), расположенные в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в атмосфере типа I | 4                            | Ж2              | Навесы в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в условно-чистой атмосфере | +50             | –50   | У2                  | Н   | –    | +                                   | – |
| Открытые площадки в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в атмосфере любых типов  | 8                            | ОЖ3             | Открытые площадки в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом                 | +50             | –50   | У1                  | +   | 3    | +                                   | – |



Окончание табл. 13. Условия хранения изделий

| Условия хранения  | Обозначение условий хранения |                 | Климатические факторы |                         |                 |   |                     |   |      |                                     |
|---|------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|---|---------------------|---|------|-------------------------------------|
|   | Основное                     | Вспомогательное |                       | Температура воздуха, °С |                 | Относительная влажность воздуха по табл. 3 для климатического исполнения вида | Солнечное излучение | Интенсивность дождя, верхнее значение, мм/мин | Пыль | Плесневые и дереворазрушающие грибы |
|   |                              | буквенное       | текстовое             | верхнее значение        | нижнее значение |   |                     |   |      |                                     |
| Открытые площадки в любых макроклиматических районах, в том числе в районах с тропическим климатом, в атмосфере любых типов   | 9                            | ОЖІ             | Открытые площадки     | +60                     | -50             | О1  | +                   | 5   | +    | +                                   |
| Примечание – Значения относительной влажности воздуха: для условий хранения 1.1 верхнее – 40 % при 50 °С, среднегодовое – 30 % при 20 °С; для условий хранения 1.2 верхнее – 55 % при 15 °С, среднегодовое – 40 % при 15 °С |                              |                 |                       |                         |                 |   |                     |   |      |                                     |

10.2. Условия транспортирования изделий, кроме указанных в пп. 10.3 – 10.5 являются такими же, как условия хранения на открытых площадках: для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом на суше – по условиям хранения 8, для всех макроклиматических районов на суше, для макроклиматического района с тропическим климатом и при морских перевозках – 9. При этом, если изделия предназначены для транспортирования на открытых палубах, должно учитываться воздействие обливания морской водой.

## СОДЕРЖАНИЕ ХРЕСТОМАТИИ

### Тема 1. ПРЕДИСЛОВИЕ

### Тема 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Бобков Н. М. О подготовке конструкторов РЭС в средних специальных учебных заведениях // Среднее профессиональное образование. 2002. № 11**

**Бобков Н. М. Основы конструирования. Проблемы терминологии // Вестник машиностроения. 2002. № 9**

**Бобков Н. М. Что такое конструирование радиоэлектронных средств? // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2008. № 1, 2**

**Функциональные системы и конструктивные уровни РЭС (Каленкович Н. И., Фастовец Е. П., Шамгин Ю. В. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств: учеб. пособие. Минск, 1989. С. 9 – 11)**

**Бобков Н. М. Конструирование и строительное конструирование РЭС // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Бобков Н. М. Систематизация терминологии в области конструирования радиоэлектронных систем // Труды Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева. 2014. № 3**

**Бобков Н. М. Категории науки о конструировании // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Общие требования к разрабатываемым (модернизируемым) техническим системам (Из ГОСТ 15.016 – 2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению)**

### Тема 3. ТИПОВОЙ ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Бобков Н. М. Конструкторская документация и порядок ее разработки // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Бобков Н. М. Применение положений стандартов ЕСКД в публикациях по конструированию: типичные ошибки // Стандарты и качество. 2004. № 8**

**Бобков Н. М. Типовой порядок разработки технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2018. № 2**

### Тема 4. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РЭС

#### Основные понятия

**Влияние физических параметров окружающей среды (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 140 – 143)**

**Воздействие на РЭА внешних механических факторов (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 143 – 145)**

**Основные эффекты, вызываемые воздействием отдельных внешних факторов** (Из ГОСТ 28198 – 89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство по применению)

**Предельные нормы эксплуатации** (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 145 – 147)

**Бобков Н. М. Механические воздействия и нагрузки на элементы несущих систем РЭС** // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1998. Вып. № 7

**Общие требования к РЭС в части стойкости к механическим ВВФ при эксплуатации** (Из ГОСТ 30631 – 99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации)

**Общие требования к РЭС в части условий хранения и транспортирования** (Из ГОСТ Р 51908 – 2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования)

**Испытание на прочность при транспортировании** (Из ГОСТ Р 51909 – 2002 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение)

**Общие требования к РЭС в части стойкости к климатическим ВВФ при эксплуатации** (Из ГОСТ 15150 – 99 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды)

#### **Тема 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЭС**

**Механические системы** (Справочник металлиста. В 5-ти т. Т. 1. М., 1976. С. 18 – 22)

**Основные сведения о механизмах** (Фаддеева Л. А. Теория механизмов и детали приборов: учебник. Л., 1983. С. 5 – 11)

**Сопротивление материалов, теория упругости и прочее ...** (Феодосьев В. И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. М., 1975. С. 5 – 6)

**Неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 12, 13)

**Реакции связей почти мгновенно изменяемых систем** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 25, 26)

**Классификация плоских систем** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 30, 31)

**Бобков Н. М. Радиоэлектронные средства как строительные сооружения** // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

**Кинематический анализ стержневых систем** (Спицына Д. Н. Строительная механика стержневых систем: учеб. пособие. М., 1977. С. 8 – 15)

**Образование и кинематический анализ плоских систем** (Живейнов Н. Н., Карасев Г. Н., Цвей И. Ю. Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин: учебник. М., 1988. С. 10, 11)

#### **Тема 6. ПРОЧНОСТЬ НЕСУЩИХ СИСТЕМ РЭС**

**Сведения из теории сопротивления материалов** (Еленев С. А. Холодная штамповка: учебник. М., 1981. С. 9 – 16)

**Переменные напряжения. Выбор допускаемых напряжений** (Красновский Е. Я., Дружинин Ю. А., Филатова Е. М. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем: учеб. пособие. М., 1991. С. 171 – 178)

**Бобков Н. М. Оценка усталостной прочности несущих деталей БНК при воздействии вибрации** // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1997. № 4

**Прочность и жесткость конструкций** (Роцин Г. И. Несущие конструкции и механизмы РЭА: учебник. М.: 1981. С. 33 – 42)

#### **Тема 7. ВОПРОСЫ БАЗИРОВАНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ**

**Основные положения теории базирования** (ГОСТ 21495 – 79 Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. Приложение 1)

**Базирование деталей** (Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие. М., 2008. С. 57 – 64)

**Основы базирования** (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 24 – 30, 34 – 41, 44 – 50)

#### **Тема 8. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ**

**Основы конструирования деталей** (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 9 – 16)

**Справочное руководство по конструированию элементов радиоэлектронных средств** (Приложение 2 к промежуточному отчету № 1 о НИР «Наледь. Исследование конструкций несущих систем, электроустановочных изделий и других элементов РЭС. Составление комплекса методических пособий «Конструкции элементов РЭС в примерах и задачах» / Нижегородский технический колледж; руководитель Н. М. Бобков; № ГР 01990006251; Инв. № 02200000313. Н. Новгород, 1999)

#### **Тема 9. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Модульные и базовые конструкции изделий, базовые изделия** (Из рекомендаций Р 50-54-103 – 88 Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения)

**Бобков Н. М. Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении** // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2

**Бобков Н. М. Агрегатное и модульное проектирование технических систем** // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5

**Бобков Н. М. Базовые несущие конструкции аппаратуры Нижегородского приборостроительного. Проектирование оболочек герметичных корпусов** // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1996. Вып. № 5

#### **Тема 10. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ РЭС**

**Унификация изделий** (Из ГОСТ 23945.0 – 80 Унификация изделий. Основные положения)

**Расчет показателей уровня унификации и стандартизации изделий** (Из методических указаний РД 50-33 – 80 Определение уровня унификации и стандартизации изделий)

**Оценка состояния государственной стандартизации БНК в России** (Раздел 3 промежуточного отчета № 1 о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г36590. Н. Новгород, 2000)

**Эволюция БНК Нижегородского научно-исследовательского приборостроительного института «КВАРЦ»** (Разделы 1 – 4 заключительного отчета о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г38225. Н. Новгород, 2000)

#### **Тема 11. ОСНОВНЫЕ НОРМЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ**

**Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских соединений** (Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 1. Л., 1982. С. 8 – 10, 12 – 19, 28 – 31)

**Шероховатость поверхности** (Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. М., 1988. С. 287 – 295)

**Обозначения шероховатости поверхностей** (из ГОСТ 2.309 – 73 ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей)

#### **Тема 12. ЭЛЕМЕНТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ ТОНКОСТЕННЫХ СИСТЕМ**

**Кручение брусьев прямоугольного поперечного сечения** (Бородин Н. А. Сопротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 74 – 76)

**Кручение брусьев тонкостенного профиля** (Бородин Н. А. Сопротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 76 – 78)

**Некоторые общие вопросы теории тонкостенных стержней** (Бояршинов С. В. Основы строительной механики машин: учеб. пособие. М., 1985. С. 5 – 7)

**Кручение тонкостенных брусьев** (Любощиц М. И., Ицкович Г. М. Справочник по сопротивлению материалов. Минск, 1969. С. 157 – 164)

**Кручение тонкостенных брусьев открытого профиля** (Глушков Г. С., Синдеев В. А. Курс сопротивления материалов: учебник. М., 1965. С. 236, 237)

**Тема 13. ПРЕДОХРАНЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ САМООТВИЧИВАНИЯ**

**Трение покоя при вибрации (Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л., 1973. С. 46 – 48)**

**Предохранение резьбовых соединений от самоотвинчивания (Решетов Д. Н. Детали машин: учебник для вузов. М., 1989. С. 135 – 138)**

**Способы и виды предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания (Из ОСТ 4Г 0.019.200 Соединения резьбовые. Способы и виды предохранения от самоотвинчивания. Технические требования)**

**Тема 14. ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Термины и определения основных понятий (Из ГОСТ Р 27.102 – 2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения)**

**Проектирование радиоаппаратуры с учетом требований надежности (Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: учебник для техникумов. М., 1989. С. 16 – 37)**

**Интенсивности отказов элементов электронной аппаратуры в номинальном режиме ( $T = +20$  °С и  $K_n = 1$ ) и поправочные коэффициенты (Теория надежности радиэлектронных систем в примерах и задачах / Под ред. Г. В. Дружинина. М., 1976. С. 136 – 138, С. 339 – 347)**

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

E-mail: n.bobkov@mail.ru