

Ройзман В. П.

Хмельницький  
національний  
університет

Коробко Е. В.

НИИ  
«Тепломассообмена»  
Белорусской  
академии наук

УДК 621.382:620.178.3

**ПРОБЛЕМЫ ВИБРАЦИОННОЙ И  
УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ  
ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ  
ТЕХНИКИ**

*В статті звертається увага на проблеми вібраційної та ударної міцності виробів електронної техніки, які експлуатуються на рухомих об'єктах і знаходяться під впливом ударів, віброударів та вібрацій. Наведені статистичні дані про відмови деяких виробів, та перераховані першочергові задачі, які треба розв'язати для забезпечення динамічної міцності виробів електронної техніки.*

*Paper focuses on problems of vibration and impact strength of electronic units, which are explored on moving objects and are subjected to impacts, vibration impacts and vibration. It represents statistical data on failures in some units and lists outstanding problems to be solved to provide dynamical strength in electronics.*

Современная техника и специальные виды оружия в значительной степени оснащены радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратурой и системами, которые выполняют функции управления, наведения, контроля, обнаружения, регулирования, сигнализации, координации, связи и даже поражения.

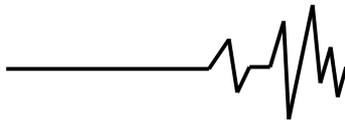
Зачастую эти системы размещаются на подвижных объектах – вертолетах, самолетах, кораблях, автомобильной и гусеничной технике, ракетах, спутниках и т.п. – и работают, как правило, под воздействием сложного комплекса дестабилизирующих факторов. К

наиболее опасным из них относятся вибрационные и ударные нагрузки, акустические воздействия, дорожная тряска, выстрелы, неуравновешенности быстровращающихся деталей, ударная волна, резкие порывы ветра, быстрые турбулентные потоки и т.п.

Ориентировочные значения параметров вибраций, полученных нами и другими авторами при статистическом обобщении опытных данных для некоторых видов механических воздействий, приведены в табл. 1 [1, 2, 3].

**Таблица 1**  
**Параметры вибраций, действующих на аппаратуру, установленную или перевозимую на подвижных объектах**

Вид транспортного средства	Частоты возбуждающих колебаний, Гц	Ускорение, G	Амплитуда, мм	
			низкие частоты	высокие частоты
Транспортные средства колесного типа	3...12	3	180	80
Транспортные средства гусеничного типа	400...780	-	0,25	-
Железнодорожный	2...100	1,5...2	25	0,05
Катера	2...50	0,4...2	10	0,2
Самолеты, вертолеты	3...500	0,2...20	>3	0,02
Управляемые снаряды	30...5000 до 10000	5-40 до 130		



Ударные нагрузки, испытываемые радиоэлектронной аппаратурой, можно рассматривать как действие на нее динамических кратковременных нагрузок, при которых вызываемые ими деформации, перемещения и усилия изменяются во времени непериодически.

Ударные нагрузки длительностью от малых долей секунды до нескольких секунд могут возникать, например, при взрывах, ударе морской волны, порывистом давлении ветра на радиолокационные антенны, толчках при посадке самолета или вертолета и т.п.

Испытания на ударную прочность и ударную устойчивость изделий радиоэлектроники проводятся с целью проверки способности изделия противостоять разрушающему действию ударных нагрузок и выполнять свои функции после их воздействия.

В процессе этих испытаний по работающему изделию наносится 1000...10000 ударов с каждой из трех взаимно перпендикулярных сторон с частотой 10...120 ударов в минуту и длительностью ударного импульса 1...15 мс. Параметры испытания на удар (ускорение, длительность ударного импульса и число ударов) устанавливаются в соответствии с условиями эксплуатации изделий или ТУ. Форма ударного импульса при испытании на ударную прочность не регламентируется, но предпочтительной является форма, близкая к полусинусоиде.

Действующие нагрузки могут приводить к разрушению отдельных деталей и узлов радиоэлектроники (резисторов, конденсаторов, плат, плоских микромодулей и других деталей) либо к изменению радиотехнических параметров электрорадиоэлементов и узлов (разбалансировка контуров, микрофонный эффект и т.п.), что приводит к снижению точности работы аппаратуры и помехам в каналах передачи информации, либо к отказам изделий.

Например, у радиолокационных и сканирующих антенн возможны отклонения зеркала из-за вибрации элементов привода и люфтов в соединениях, в результате чего могут возникать периодические отклонения антенны от ее нормального положения, колебания зеркала и облучателя, что может привести к полному нарушению функционирования.

Механические воздействия оказывают существенное влияние на прочность и надежность изделий радиоэлектроники и вызывают от 30 до 50%, а в авиации до 80% всех её отказов, ухудшают точность и другие параметры аппаратуры. При этом надежность

всего изделия в целом, его безотказность в работе во многом определяется надежностью составляющих её элементов. Следует учесть, что число элементов в радиоэлектронной аппаратуре за каждые 5 лет увеличивается в 2...5 раз.

Увеличение точности и объема обрабатываемой информации требует усложнения структуры и увеличения физического объема аппаратуры. При этом изменяется её состав.

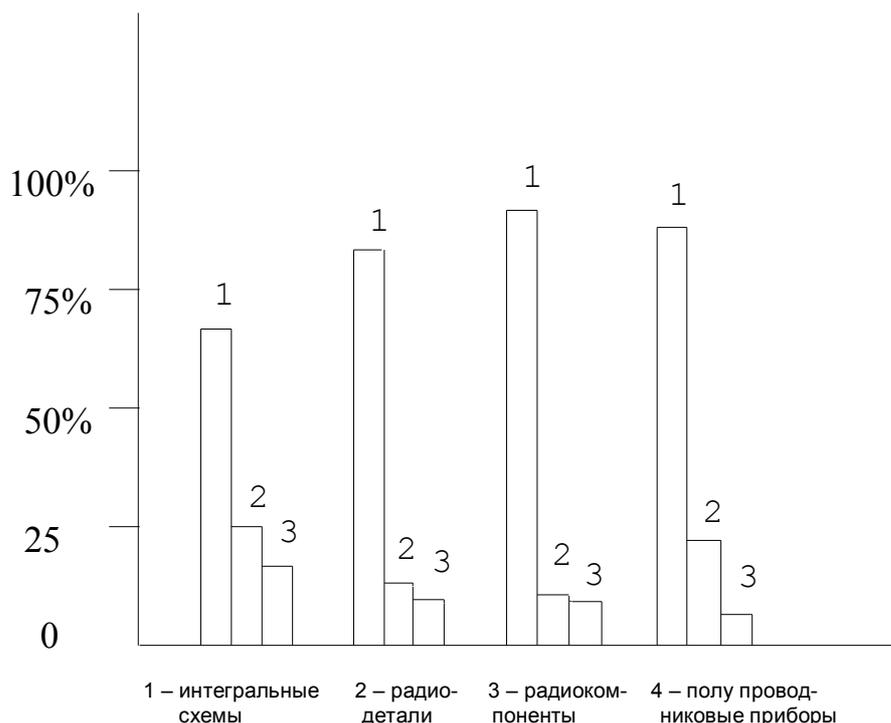
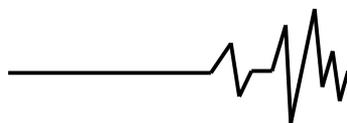
Задача обеспечения прочности аппаратуры осложняется тем, что с одной стороны, существующая в радиоэлектронике тенденция к снижению веса и получению высокой плотности монтажа в малогабаритных изделиях, приводит к появлению нежестких конструкций, с другой стороны, интенсивность вибрационных и ударных воздействий возрастает в связи с ростом скоростей подвижных объектов. Если к этому добавить широкое применение новых материалов с неизученными в достаточной степени механическими свойствами, то станет ясным, почему такое обилие отказов из-за внешних воздействий.

Последствия таких отказов бывают слишком дорогими. Так, например, разрушение одного из резисторов стоимостью 5 долларов привело в США к гибели ракеты стоимостью более 10 миллионов долларов.

При проектировании аппаратуры возникает необходимость - выполнения динамических расчетов с целью определения запасов прочности конструкции, вычисления резонансных частот и коэффициентов усиления на них, вычисления нагрузок, действующих на элементы и узлы радиоэлектронной аппаратуры. Такие задачи относятся к трехмерным нестационарным краевым задачам теории упругости.

Анализ состояния отечественных и зарубежных изделий радиоэлектроники (ИРЭ) указывает на остроту проблемы обеспечения статической и динамической прочности элементов ИРЭ как у нас в стране, так и за рубежом. В некоторых работах рассматриваются статические и динамические воздействия на ИРЭ и способы защиты от них.

Во многих работах [4, 5-9] приводятся сведения об отказах ИРЭ из-за механических воздействий. На рис. 1 показана диаграмма, построенная на основе данных, приведенных в [9], а в табл. 2, нами обобщены сведения об отказах из-за механического повреждения элементов, микромодулей (ММ), изготовленных ПО "Новатор".



**Рис. 1. Распределение отказов по их видам при испытаниях на механические воздействия: 1 - внешние механические повреждения, сколы, нарушение герметичности; 2 - уход электрических параметров; 3 - нарушение функционирования**

**Таблица 2**

**Отказы у потребителей, вызванные механическими повреждениями ЭРЭ**

Причины отказов	1974г.	1975г.	1976г.	1978г.	1979г.	1980г.	1981г.
Механические повреждения ЭРЭ, из них:	301	314	492	583	596	521	332
Трещины резисторов типа ОМЛТ-0,125, ОСМЛЛ-0,125, С2-23-006	22	12	11	308	82	65	61
Отслоение металлизации	40	10	1	36	47	3	13
Обрыв индуктивностей	17	10	14	19	21	18	8
Скол колбы диода	15	10	3	55	32	17	9
Коэффициент увеличения объема	1	15	2	39	41	49	48

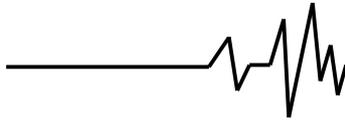
Применяемые в ИРЭ полимерные материалы еще недостаточно хорошо изучены, а подбор их составов часто производится на основании эмпирических данных. Взятые из различных источников данные по физико-механическим характеристикам одних и тех же полимерных материалов имеют существенное различие [10].

Существующие в общем машиностроении методики и средства исследования динамической прочности зачастую не могут быть перенесены в радиоэлектронику, так как

вносят существенные изменения в массу и жесткость исследуемых изделий.

Поэтому первостепенное значение имеет разработка экспериментальных и расчетных методов и средств исследования динамической прочности изделий радиоэлектроники как на стадии их проектной разработки, так и на стадии изготовления, эксплуатации и использования, а также разработка и создание эффективных средств защиты изделий от внешних воздействий.

Таким образом, задача повышения на этой основе прочности, надежности, качества



и долговечности функционирования сложной радиоэлектронной аппаратуры является весьма актуальной, имеющей важное научное и практическое значение.

Необходимо разработать и внедрить в практику методы и средства исследования и контроля динамической прочности и создать на этой основе эффективные средства защиты изделий радиоэлектроники от вибрационных и ударных воздействий. Для достижения указанной цели необходимо решить в первую очередь следующие задачи.

Дать анализ существующих экспериментальных методов и средств исследований и испытаний на динамическую прочность в общем и специальном машиностроении и возможность их применения для изделий радиоэлектроники. При рассмотрении вибраций деталей радиоэлектроники наибольшее значение представляет модальный анализ, то есть определение форм и частот колебаний отдельных элементов или их узлов и такие взаимосвязанные параметры колебательного движения как вибросмещение, виброскорость и виброускорение. При этом не имеет существенного значения, какой из них измерять в первую очередь, но следует применять интегро-дифференциальные зависимости между ними. Необходимо обратить особое внимание на специфику изделий радиоэлектроники: их малые габариты и вес, плохую теплопроводимость материалов, анизотропию и большой разброс физико-механических свойств и, в связи с этим, на необходимость доработки существующих методов и средств исследования динамической прочности изделий и необходимость разработки новых.

Далее следует рассмотреть вопросы, связанные с разработкой методов и средств исследования динамики изделий радиоэлектроники, вопросы доработки метода электротензометрии, а также разработку бесконтактных методов измерения вибраций.

Затем необходимо исследовать, на основе разработанных методов и средств, динамические характеристики существующего испытательного оборудования, выявить его недостатки, а также недостатки применяемых методик испытаний и привести примеры выявления причин прочностных дефектов изделий. Здесь же необходимо дать рекомендации по совершенствованию испытательного оборудования, привести конструкции "безрезонансных" приспособлений

для закрепления функциональных плат, у которых резонансные частоты находятся выше 5000 и 10000 гц. Необходимо разработать руководящие технические материалы по организации и проведению вибрационных и ударных испытаний.

Наконец, следует рассмотреть вопросы исследования динамической прочности изделий радиоэлектроники и разработки мероприятий по их защите от вибрационных и ударных воздействий, дать метод экспериментального исследования форм и частот колебаний печатных плат и корпусных изделий на основе использования обратного пьезоэлектрического эффекта и высокоскоростной видеосъемки, теоретически и экспериментально показать, что для уменьшения амплитуд колебаний печатных плат при резонансе наибольший эффект имеет способ их закрепления на тканевой подвеске с демпфером сухого трения и показать возможность получения безрезонансных конструкций блоков радиоэлектроники.

#### **Литература**

1. Карпушин В. Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М. : Сов. радио, 1971. - 344с.
2. Токарев М. Ф., Талицкий Е. Н., Фролов В. А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры – М. : Радио и связь, 1984. - 224с.
3. Суровцев Ю. А. Амортизация радиоэлектронной аппаратуры. М. : Сов. радио, 1974. -176 с.
4. Улинич Р. Б. Практическое обеспечение надежности РЭА при проектировании. М. : Радио и связь, 1985. – 112 с.
5. Белевцев А. Т. Технология производства радиоаппаратуры. - М. : Энергия, 1971. - 544 с.
6. Воллернер Н. Ф. Конструирование и технология изготовления радиоэлектронной аппаратуры. - К. : Вища школа, 1970. – 365 с.
7. Широков А. М. Надежность радиоэлектронных устройств. - М. : Высшая школа, 1972. - 272 с.
8. Хинней К., Уолис К. Радиодетали и проблема надежности. Пер. с англ.- М. : Советское радио, 1960. - 430 с.
9. Пролейко В. М., Абрамов В. А., Брюнин Б. Н. Система управления качеством изделий микроэлектроники. М. : Советское радио, 1976. - 224 с.
10. Базарова Ф. Ф. Органические и неорганические полимеры в конструкциях РЭА. М. : Сов. радио, 1974. - 160 с.