

УДК 621.314.517

В.П. РОЙЗМАН<sup>1</sup>, С.А. ВОРОНОВ<sup>2</sup>, А.Т. БОГОРОШ<sup>2</sup>, А. БУБУЛИС<sup>3</sup>, В. ЮРЕНАС<sup>3</sup><sup>1</sup>Хмельницкий национальный университет, Украина<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «КПИ», Украина<sup>3</sup>Каунасский технологический университет, Литва

## НАДЕЖНОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ РАБОТЕ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

*Рассмотрена проблема надежности современной радиоэлектронной аппаратуры и комплектующих электрорадиоэлементов при эксплуатации в экстремальных условиях. Проведен аналитический обзор работ по данной тематике, указаны основные виброчастотные параметры, влияющие на надежность радиоэлектронной аппаратуры а также базовые элементы чаще всего выходящие из строя. Анализ нагрузок, действующих на радиоэлектронные системы, позволяет определить требования к радиоэлектронным компонентам, которые должны иметь высокую надежность, вибро- и ударопрочность.*

**Ключевые слова:** радиоэлектронная аппаратура, вибрации, удары, транспортные средства.

### Введение

Сложные изделия электронной техники состоят из подавляющего большинства типичных узлов, микросхем, модулей, триггеров, смесителей, линий задержки и так далее, которые, в свою очередь, собранные из типичных электрорадиоэлементов: например, резисторов и конденсаторов разнообразных конструкций и видов. В развитых странах количество таких деталей достигает десятки миллиардов штук в год. Они дешевы в изготовлении, но в сложных условиях эксплуатации недостаточно надежные. Тенденция к снижению веса (так, например, радиолампы везде заменены транзисторами), получения высокой плотности монтажа и обеспечение герметичности в современных радиоэлектронных системах привела к уменьшению жесткости элементов. Эксплуатация таких изделий из новых неметаллических материалов с недостаточно изученными механическими свойствами в условиях эксплуатации разнообразных объектов военной и гражданской техники: ракет, самолетов, бронемашин, автомобилей, поездов, судов, радиолокационных станций, компьютеров и других при больших перепадах температур и давления в условиях вибраций и ударов часто приводит к отказам в результате разрушения отдельных частей и разгерметизации. В радиоэлектронике из-за действия внешних нагрузок и несовершенных технологий изготовления в изделиях возникают внутренние напряжения, от действия которых возникают отклонения параметров за границы технических условий, что в большинстве случаев приводит к их отказам еще задолго до разру-

шения. Цена таких отказов бывает чрезвычайно высокой. Да, разрушение резистора стоимостью три доллара привели в США к гибели ракеты стоимостью 140 млн. долларов. Поломка вывода одной из недорогих микросхем привела в СССР к потере связи с опущенным на Венеру и работающим там космическим аппаратом. Известно аналогичные примеры, когда через отказ электронной техники в результате разрушения недорогого элемента возникали катастрофы или аварии самолетов, судов, атомных электростанций и других объектов, основной составной частью которых были современные электронные системы. При этом потери насчитывало много миллионов долларов, не говоря уже о человеческих жертвах.

Проблема надежности продолжает оставаться одной из наиболее острых проблем современной радиоэлектроники. Основными факторами, которые влияют на надежность радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) остаются:

- скрытые дефекты комплектующих изделий;
- нарушение технологии сбора и доли РЭА;
- недостатки схемы и конструкций аппаратуры.

Анализ нагрузок, действующих на радиоэлектронные системы (РЭС), позволяет определить требования к радиоэлектронным компонентам, которые должны иметь высокую надежность, вибро- и ударопрочность, малую массу и габариты, низкую стоимость, быть технологическими и взаимозаменяемыми. Именно эти свойства в основном определяют качество аппаратуры, ее назначения и эксплуатационные характеристики.

Механические нагрузки осуществляют существенное влияние на надежность изделий радиоэлектроники и вызывают от 30 до 50 процентов всех ее отказов, а в авиации – до 80 процентов, ухудшают точность и другие параметры аппаратуры. При этом надежность всего изделия в целом, его безотказность в работе в большинстве определяется надежностью составляющих его элементов. Следует отметить, что количество элементов в радиоэлектронной аппаратуре каждые 5 лет увеличивается в 2 – 5 раз.

При эксплуатации радиокомпоненты и функциональные узлы могут работать при температуре от –65 к +250 градусов Цельсия, с вибрационными частотами от 5 до 5000 Гц, при ускорении до 40 g, подаваться ударам с ускорением до 120 g, относительная влажность может изменяться от 5 до 100%, атмосферное давление – в пределах  $6,6 \times 10^{-4}$  –  $1 \times 10^6$  Па, фоновое излучение (проникающая радиация и гамма-излучение) могут достигать  $10^{10}$  рад/с. В нескольких случаях эти влияния могут быть еще жестче [1].

Если учесть, что в сложных РЭС насчитываются десятки, сотни и тысячи однотипных элементов радиоэлектроники, то можно представить, какое значение имеет безотказность каждого из них для безотказности системы в целом.

В результате исследований установлено следующее распределение причин отказов радиоэлектронной аппаратуры:

- дефекты электрорадиоприборов – 44%;
- схемно-конструкторские недостатки аппаратуры – 15,4%;
- недостатки производства аппаратуры – 36,6%;
- нарушение в эксплуатации – 3,5%;
- причина не установлена – 0,5%.

Приведено выше распределение причин отказов относится ко всей совокупности исследованных электрорадиоприборов.

### Анализ элементной базы и ее влияние на надежность изделий в сложных условиях эксплуатации

Изучения условий труда радиоэлектронных изделий обнаружили, что они работают, как правило, под действием сложной совокупности дестабилизирующих факторов. К основным факторам, которые влияют больше всего, относятся факторы, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Дестабилизированные факторы, которые больше всего влияют на работу РЭА

Объективные факторы	Субъективные факторы
<p><b>Окружающая среда:</b> температура; влажность; солнечная радиация; атмосферное давление; порох и песок; биологическая среда.</p> <p><b>Условия работы:</b> режим использования; старение; механические нагрузки; вибрации и ударные нагрузки, термоудары, акустическое действие, путевая тряска, неуравновешенность быстрооборотных деталей, ударная волна, резкие порывы ветра, быстрые турбулентные потоки; проникающая радиация.</p>	<p><b>Организация технической эксплуатации:</b> техническое обслуживание: ремонт; хранение; контроль технического состояния; материально-техническое обеспечение.</p> <p><b>Деятельность обслуживающего персонала:</b> квалификация; соблюдение правил безопасности.</p>

Наиболее опасными из указанных факторов являются вибрационные и ударные нагрузки, термоудары, акустическое действие, путевая тряска, неуравновешенность быстрооборотных деталей, ударная волна, резкие порывы ветра, быстрые турбулентные потоки и другие.

Возможные диапазоны вибрации РЭА, установленных на разнообразные подвижные объекты, и максимальные амплитуды колебаний по нашим исследованиям и [1, 2] представлено в табл. 2.

Исследования показали, что действующие нагрузки приводят к разрушению отдельных деталей и узлов радиотехники, или к изменению параметров радиотехнических электрорадиоэлементов и узлов, что ведет к снижению точности работы аппаратуры и помехам в каналах передачи информации или к отказам изделий.

Например, у радиолокационных и сканирующих антенн возможное отклонение зеркала через вибрации элементов повода и люфтов в соеди-

нениях, в результате чего могут возникнуть периодические отклонения антенн от их нормального положения, колебания зеркала и облучателя, который

может привести к полному нарушению работы станции или отклонения от цели ракеты.

Таблица 2

Возможные диапазоны частот вибрации РЭА, установленных на разных подвижных объектах и максимальные амплитуды колебаний

Вид РЭА	Частота вибрации, Гц	Максимальная амплитуда, мм
<b>Наземные, что устанавливаются в транспортных средствах:</b>		
в кузовах автомашин	0– 80	1– 2,5
на тракторах, бронетранспортерах колесного типа	8– 15	1
на тракторах гусеничного типа	400– 700	0,25
на танках	20– 2000	0,25
<b>Самолетные:</b>		
на самолетах с поршневым двигателем	5– 150	0,15– 5
на самолетах с реактивным двигателем	5– 500	0,025– 0,3
<b>Ракетные</b>		
на грани разгона ракеты	5– 500	–
в полете ракеты	30– 5000	1– 3
<b>Судовые</b>		
на подлодках большого тоннажа	2– 35	1
на подлодках малого тоннажа	5– 150	1
<b>Примененные в железнодорожном транспорте</b>	2– 10	до 35

В сложные радиолокационные устройства входят десятки, сотни и даже тысячи элементов радиоэлектроники. В Украине проблемами обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры занимается, в частности Институт Критических технологий и надежности радиоэлектроники. При анализе причин отказов электрорадиоприборов, что входят в состав ра-

диоаппаратуры, объектами исследований были полупроводниковые диоды, транзисторы, полупроводниковые и гибридные микросхемы, пленочные резисторы, электролитические конденсаторы, электромагнитные реле, и коммутационные изделия. Распределение отказов аппаратуры, связанных с заменами электрорадиоприборов, показано в табл. 3 [1– 3].

Таблица 3

Распределение отказов РЭА, связанных с заменами ЕРЕ (%)

№ п/п	Причина отказа	Интегральные микросхемы				Транзисторы	Диоды	Резисторы	Конденсаторы	Реле
		общие данные	линейные	цифровые						
				ТТЛ	КМОП					
1	Дефект ЭРИ	36	33,5	43	34,6	36,7	57,8	53,9	61,3	61,4
2	Схемноконструкторские недостатки	30,1	39,2	24,4	26,8	37,1	15,8	30,2	2	10,7
3	Недостатки технологии производств	31,6	27,3	32,6	38,6	25,7	26,4	11,6	36,7	17,9
4	Нарушение условий эксплуатации	1,4				0,4		4,3		
5	Неустановленные причины	0,9								

Исследования показали, что через дефект конденсаторов имеет место 61,3% отказов РЭА.

Конденсаторы составляют основу практически любой радиоэлектронной схемы, пристрою или прибору, т.е. процент конденсаторов от общего количества элементов в радиоэлектронных средствах составляет от 28% до 45%. [1, 2].

Такие предприятия, как "Позитрон" и "Катион" также столкнулись с проблемой отказов "баночных", электролитных и пленочных конденсаторов К78-3, К50-16 и К50-32. Причиной этих отказов была разгерметизация узлов защиты от влаги, которая происходила при изменениях температуры окружающей среды. Имея разные (иногда недостаточно

изученные) физико-механические характеристики материалов, из которых изготовленные элементы стандартной конструкции узла влагозащиты они неодинаково реагируют на смену состояния окружающей среды. Поэтому при изменении температур детали конструкции действуют несогласованно, что вызывает отслаивание компаунду от стенок корпуса и растрескивание компаунду [3].

### Заключение

Приведенные материалы показывают на необходимость проведение исследований, как бы позволили усовершенствовать конструкции и технологические процессы производства конденсаторов и повысить надежность радиоэлектронных приборов, в том числе путем математического моделирования и прогнозирования дефектообразования [4, 5].

Работа выполнена в рамках проектов: No AUT-09/2010 и No TRA-30/2010, финансируемых Советом Науки Литвы.

### Литература

1. Трифонюк В.В. Надежность устройств промышленной электроники / В.В. Трифонюк. – К.: Лыбидь, 1992. – 62 с.
2. Ленков С.В. Обеспечение надежности РЭА / С.В. Ленков. – К.: ТЛПУ, 1997. – 48 с.
3. Ройзман В.П. Некоторые проблемы надежности радиоэлектронной аппаратуры / В.П. Ройзман, А.К. Бережнюк // Вестник Технологического университета Подолья. – Хмельницкий, 2004. – № 1, ч. 1. – С. 181-186.
4. Богорош О.Т. Моделирование магнитного контроля гетероструктур / О.Т. Богорош, П.О. Стебляноко // Математические проблемы технической механики – 2006: материалы международной научной конференции. – Днепрпетровск, Днепродзержинск, 17-20 апреля 2006. – С. 81-82.
5. Ройзман В.П. Smart Ski Technology - электронная демпфирующая система / В.П. Ройзман, А.Т. Богорош, С.А. Воронов // Вестник Хмельницкого национального университета. – Хмельницкий, 2008. – № 3. – С. 17-21.

Поступила в редакцию 14.05.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Р. Ионушас, Каунасский технологический университет, Каунас, Литва.

### НАДІЙНІСТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ПРИ РОБОТІ НА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

*В.П. Ройзман, О.Т. Богорош, С.О. Воронов, А. Бубулис, В. Юренас*

Розглянуто проблему надійності сучасної радіоелектронної апаратури і комплектуючих електрорадіоелементів при експлуатації в екстремальних умовах. Проведено аналітичний огляд робіт з даної тематики, вказані основні віброчастотні параметри, що впливають на надійність радіоелектронної апаратури а також базові елементи що найчастіше виходять з ладу.

**Ключові слова:** радіоелектронна апаратура, вібрації, удари, транспортні засоби.

### RELIABILITY OF THE RADIO-ELECTRONICS EQUIPMENT OPERATING IN LOCOMOTION MEANS

*V.P. Roizman, S.O. Voronov, O.T. Bogrosh, A. Bubulis, V. Jurenas*

Presented paper considers the reliability problem of the modern radio-electronics equipment, electronics and radio components, operating under extreme conditions. The analytical analysis of the works within this subject-matter is carried out and main vibrations-frequency related parameters, having influence on the reliability of the radio-electronics equipment and basic elements that commonly are undergoing failures, are identified.

**Key words:** radio-electronics equipment, vibrations, impacts, locomotion means.

**Ройзман Вилен Петрович** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры прикладной механики Хмельницкого национального университета, Хмельницкий, Украина, e-mail: royzman@mailhub.tup.km.ua.

**Воронов Сергей Александрович** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры прикладной физики Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина, e-mail: voronov@ntu-kpi.kiev.ua.

**Богорош Александр Терентьевич** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры прикладной физики Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина, e-mail: fondfti@ntu-kpi.kiev.ua.

**Бубулис Альгимантас** – д-р техн. наук, главный научный сотрудник Центра мехатроники Каунасского технологического университета, Каунас, Литва, e-mail: algimantas.bubulis@ktu.lt.

**Юренас Витаутас** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры мехатроники Каунасского технологического университета, Каунас, Литва, e-mail: vytautas.jurenas@ktu.lt.