

Литература. 1. Системный анализ и структура управления: книга восьмая // Сб. под общ. ред. проф. В.Г. Шорина, М.: Знание, 1975, - 304 с. 2. Чумаков Н.М., Серебряный Е.И. Оценка эффективности сложных технических устройств. - М.: Советское радио. 1980. - 192 с. 3. Гмошинский Г.И. Инженерное прогнозирование. - М.: Энергоиздат. 1982. - 208 с. 4. Благодарный В.М. Прогнозирование слабого элемента при оценке работоспособности механизма на этапе проектирования // Авиационная промышленность. - 1979. - №9. - с. 21-24. 5. Кралельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение. 1968. - 480 с. 6. Смирнов Н.В., Дунин-Борковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. - М.: Наука. 1969. - 512 с.

УДК 620.171.311.3

В.М.Сурин

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА УДАРНУЮ И ВИБРАЦИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Минск, Беларусь*

Элементы приборов и аппаратуры при транспортировании или эксплуатации на подвижных объектах воспринимают различные механические нагрузки, имеющие сложный характер. Их сводят к вибрационным и ударным воздействиям.

Действующими стандартами предусмотрены следующие методы стендовых испытаний аппаратуры на вибрационную и ударную прочность: испытания на действия синусоидальной и случайной вибраций, многократных ударов.

Разнообразие методов испытаний является результатом поиска компромиссного решения, которое удовлетворяло бы хорошей имитации реальных механических воздействий и наиболее простой их реализации.

Первому условию достаточно полно отвечают испытания на действие широкополосной случайной вибрации и многократных ударов. Испытания на действие синусоидальной вибрации отличаются простотой технических процедур и доступностью оборудования.

Испытания элементов на вибрационную и ударную прочность вызывают сходные эффекты: реакция элементов на вышеуказанные виды воздействия близка к синусоидальному колебанию, основным видом отказа является многоцикловое усталостное разрушение.

При расчетах долговечности элементов, подверженных вышеуказанными видами нагружения, применяют вероятностные методы, основанные на использовании статистических распределений. Случайное поведение показателей долговечности обусловлено стохастической природой процесса усталостного разрушения, неоднородностью структуры и характеристик механических свойств материала, отклонениями размеров и формы элементов от номинальных, различием качества поверхностного слоя и другими подобными явлениями. Необходимо выбрать гипотетическое распределение отказов (долговечности), адекватное истинному распределению, что позволит с большей точностью рассчитывать показатели долговечности при заданной вероятности отказа.

В качестве объектов испытаний выбраны широко используемые в аппаратуре

электрорадиоэлементы, являющиеся типичными представителями изделий массового производства: резисторы типа МЛТ, конденсаторы. При выборе учитывали различие в способах крепления, вес и стоимость в связи с испытанием их большого количества. Элементы представляли собой сосредоточенную массу с проволочными выводами из меди или кобальта. Основными моделями крепления испытываемых элементов были: двухопорный закрепленный по краям стержень с сосредоточенной посередине массой и консольно закрепленный стержень с сосредоточенной массой на свободном краю. Элементы одного типоразмера испытывали на каждом режиме одновременно партиями по 20...68 штук. Для уменьшения разброса результатов испытаний элементы определенного типа выбирались из одной партии. Специальные приспособления, устанавливаемые на столах вибрационного и ударного стендов, обеспечивали: идентичность заделки выводов элементов испытываемых партий; отклонение ускорений в различных точках от задаваемого в контрольной точке не более 7%; отсутствие резонансов приспособления в исследуемом диапазоне частот.

При испытаниях на синусоидальную и случайную вибрации использовали электродинамические вибрационные установки УВЭ-5/10000. Режимы воздействия при испытании на синусоидальную вибрацию устанавливали с помощью системы управления вибростендом СУВУ-4, которая обеспечивает автоматическое поддержание постоянного уровня задаваемого ускорения на столе вибростенда, автоматическую развертку частоты нагружения в установленном диапазоне или ее фиксирование на заданной величине. Режимы воздействия при действии случайной вибрации устанавливали с помощью системы СПВ-3ПМ, которая поддерживала заданный уровень среднеквадратического значения ускорения для выбранной формы спектра.

Испытания на действие многократных ударов проводили с помощью электродинамической установки УУЭ-2/200М, которая обеспечивала поддержание заданных значений амплитуды ускорения, длительности и частоты следования ударных импульсов полусинусоидальной формы.

В качестве виброизмерительных преобразователей, устанавливаемых в контрольной точке приспособления для крепления испытываемых элементов использовали пьезоэлектрические акселерометры типа ИС313А.

Отказы у испытываемых токопроводящих элементов автоматически фиксировали регистратором отказов, позволяющим одновременно контролировать до 100 элементов. Устройство регистрирует и представляет в цифровом виде число циклов нагружения ($N_{\max}=10^9$ циклов) и время наработки до отказа ($t_{\max}=10^6$ секунд), при которых происходит усталостное разрушение вывода и нарушение проводимости электрической цепи. Частота опроса каналов 600 Гц.

Каждую партию испытывали при неизменном режиме воздействия до разрушения выводов всех элементов. При испытании на синусоидальную вибрацию режим определялся частотой (фиксированной или диапазоном качания частоты) и уровнем виброускорения. Режим испытания на случайную вибрацию задавался формой, шириной спектра и уровнем среднеквадратического значения ускорения по частотным диапазонам спектра. Режим испытаний на многократные удары определялся длительностью и амплитудой ускорения ударного импульса, а также частотой следования ударов.

Тип закона распределения наработки T до отказа элементов испытанных партий определяли путем сравнения с теоретическими распределениями с помощью статистических критериев согласия. Простейшие критерии согласия основаны на сравнении некоторых генеральных параметров (асимметрии и эксцесса) предполагаемого распределения с оценками, полученными по исследуемой выборке. К более строгим и точным критериям относят χ^2 -критерий Пирсона.

При использовании критерия согласия Пирсона за меру расхождения теоретиче-

Распределения отказов элементов испытанных партий сравнивали со следующими теоретическими двухпараметрическими распределениями: нормальным, логарифмически нормальным и Вейбулла. При этом использовали критерии Пирсона и Колмогорова и специальный критерий W при малых объемах партий [1, 2]. Во всех случаях задавали уровень значимости равный 0,05. В абсолютном большинстве случаев была принята гипотеза о логарифмически нормальном распределении. Так, при испытании на случайные вибрации из 80 испытанных партий в 80 случаях была принята гипотеза о логарифмически нормальном распределении, гипотеза о нормальном распределении не противоречила экспериментальным данным в 5 случаях, а гипотеза о распределении Вейбулла не противоречила экспериментальным данным только в одном случае. При обработке результатов испытаний 40 партий на многократные удары, только в трех выборках логарифмически нормальное распределение не согласуется с экспериментом. Результаты обработки 14 партий, испытанных на воздействие синусоидальной вибрации методами качающейся в диапазоне и фиксированной частоты возбуждения подтвердили во всех случаях правомочность принятия логарифмически нормального распределения отказов.

Дополнительно к машинной обработке были построены на вероятностной бумаге для логарифмически нормального распределения и распределения Вейбулла графики эмпирических распределений. Чем меньше нанесенные точки эмпирического распределения отклоняются от прямой, тем убедительнее принятие теоретического распределения, для которого построена сетка. Анализ графиков, построенных на вероятностной бумаге, показал, что эмпирические распределения отказов при испытаниях на вибро и ударную прочность согласуются с логарифмически нормальным распределением, что нельзя сказать о распределении Вейбулла.

Анализируя результаты испытаний партий различных электрорадиоэлементов с разными схемами крепления на многоцикловое усталостное разрушение при воздействии синусоидальной и случайной вибраций и многократных ударов отметим, что экспериментально полученные распределения наработок до отказа хорошо согласуются с теоретическим логарифмически нормальным законом распределения. Обоснование логарифмически нормального распределения усталостной долговечности вытекает из предположения об обратной пропорциональной связи между скоростью накопления повреждений и числом наработанных циклов [3].

Литература. 1. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232с.
2. ГОСТ 11.006–88 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. – М.: Изд. стандартов, 1992. – 33с.
3. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. – М.: Сов. Радио, 1966. – 270с.