

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Техническая диагностика РЭС»  
для студентов направления подготовки 11.03.03  
«Конструирование и технология электронных средств»,  
профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных  
средств» всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.3.049.7.002 (075)  
ББК 38.54

**Составители:**

асс. А.С. Костюков  
д-р техн. наук А.В. Башкиров

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Техническая диагностика РЭС» для студентов направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. С. Костюков, А. В. Башкиров. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 141 с.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле LAB\_TF.pdf.

Ил. 2. Табл. 11. Библиограф.: 12

**УДК 621.3.049.7.002 (075)**

**ББК 38.54**

**Рецензент** - О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.  
кафедры конструирования и производства  
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно–издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ИСПЫТАНИЕ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛА И ХОЛОДА

### 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Электронная аппаратура как объект проектирования, производства и эксплуатации состоит из элементов, компонентов и изделий различного структурного уровня. Функционирование РЭА основано на использовании электронных процессов, происходящих внутри структур составляющих ее частей. Воздействие повышенной и пониженной температуры на РЭА приводит к изменению электрофизических свойств материалов (электропроводности, диэлектрических свойств и т.д.), физико-механических свойств материалов (расширение, размягчение, деформация), вследствие чего происходит тепловая неустойчивость, нестабильность электрических параметров, тепловой пробой диэлектриков и *p-n* переходов полупроводниковых ИС, обрывы и короткие замыкания.

В связи с изложенным является целесообразным:

- 1) изучить влияние положительных и пониженных температур на изменение физико-механических свойств материалов, электрофизических свойств радиоэлементов;
- 2) ознакомиться с конструкциями камер предназначенных для испытания РЭА на воздействия положительных и пониженных температур;
- 3) уяснить методику проведения испытаний РЭА на воздействие положительных и отрицательных температур;
- 4) провести испытание РЭА на воздействие пониженной и повышенной температуры;
- 5) составить отчет о выполнении лабораторной работы с соответствующими выводами.

## 2 ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

### 2.1 Задание первое

Изучить влияние отрицательной и положительной темпера

тур на радиоматериалы и радиоэлементы и работоспособность РЭА в целом.

Для выполнения данного задания следует проработать теоретический материал в /1, с 87-101, 165-171, 2, с 152-162, 3, 188-192/.

Для обеспечения нормальной работы РЭА и важное значение имеет зависимость их тепловых характеристик.

Повышение температуры РЭА может происходить под воздействием внешних и внутренних факторов, причем это воздействие бывает непрерывным (стационарным), периодическим и аperiodическим.

Действие внешних факторов определяется климатическими условиями, расположением РЭА в месте установки (отсек самолета, на корабле, на автомобиле и т. д.) и расстоянием до внешних источников тепла.

Климатические условия характеризуются температурой окружающего воздуха и интенсивностью солнечной радиации.

Как показывает анализ климатических условий, температура воздуха может колебаться в очень широких пределах (от  $-70$  до  $+68^{\circ}\text{C}$ ), причем верхний температурный предел увеличивается за счет нагрева при воздействии солнечной радиации. Температура и скорость нагрева под действием солнечной радиации зависят от размеров и цвета поверхности радиоаппаратуры, теплопроводности и теплоемкости материала ее шасси, кожуха и других деталей конструкции.

Указанные факторы определяют предельную температуру нагрева, по достижении которой поверхность

аппаратуры начинает переизлучать принятое тепло. В зависимости от места установки аппаратуры на температуру и скорость нагрева может оказывать влияние скорость ветра.

Наличие тепловой инерции, обусловленной теплоемкостью Земли и атмосферы, приводит к тому, что хотя максимальная интенсивность солнечного излучения имеет место в 12 часов дня, суточная температура воздуха максимальна между 13 и 14 часами (по некоторым данным разница указанных температур может достигать  $5\text{--}6^\circ\text{C}$ ). Отсюда следует, что одновременное воздействие на аппаратуру максимальной температуры воздуха и максимальной интенсивности солнечного излучения маловероятно.

Действие внутренних факторов главным образом зависит от схемы и конструкции РЭА.

Непрерывному тепловому воздействию подвергается РЭА, работающая в стационарных условиях (в помещении). Длительность установления стационарного режима РЭА определяется ее назначением и принятыми схемно-конструкторскими решениями; она колеблется от 0,5 до 2,5—3 ч.

Периодическому тепловому воздействию подвергается полевая, самолетная и другая специальная радиоаппаратура подвижного типа. Такой вид воздействия возникает при повторно-кратковременном включении РЭА, при резких изменениях условий эксплуатации (взлет и приземление самолета), а также при суточном изменении температуры.

Периодические изменения теплового воздействия приводят к многократным деформациям элементов: чем больше разность между наивысшей и наименьшей температурами, тем выше интенсивность воздействия. Воздействие периодических изменений температуры оказывается тем интенсивнее, чем больше скорость и частота изменения. Для наземной, полевой аппаратуры, находящейся в

дежурном режиме, перепады температуры в блоках за время ее прогрева достигают  $60^{\circ}\text{C}$ . Время прогрева зависит от назначения, схемного решения и конструкции РЭА. Оно колеблется от 10 мин до 3 ч.

При эксплуатации авиационной аппаратуры перепады температуры могут достигать  $80^{\circ}\text{C}$  при скорости изменения температуры до  $50^{\circ}\text{C}$  в 1 мин.

Апериодическое тепловое воздействие имеет место в аппаратуре, устанавливаемой на ракетах (в моменты запуска и вхождения в плотные слои атмосферы), и в ряде других случаев. При этом в результате теплового удара чаще всего возникают внезапные отказы. Повышение температуры РЭА может вызывать как постепенные, так и внезапные отказы, вызванные превышением предельно допустимых значений температуры материалов и различных радиоэлементов.

Воздействие повышенной температуры приводит к изменению физико-химических и механических свойств материалов и элементов, что вызывает изменение электрических и механических параметров РЭА. Известно, что большое место в конструкциях раз личных устройств РЭА и элементов занимают электроизоляционные материалы. В зависимости от физической структуры они бывают кристаллическими и аморфными. При воздействии тепла на аморфные вещества переход их из твердого состояния в жидкое происходит постепенно в диапазоне температур, а не скачком, как у кристаллических веществ.

Изменение температуры электроизоляционных материалов приводит к изменению следующих основных электрических характеристик: диэлектрической проницаемости, удельного объемного и поверхностного сопротивлений, угла диэлектрических потерь и электрической прочности. Одновременно изменяются и их механические свойства.

Зависимость электропроводимости твердых диэлектриков от температуры может быть выражена следующей формулой:

$$\gamma = -\gamma_0 \cdot e^{\frac{B}{T}} [\text{Ом} \cdot \text{см}]^{-1}, \quad (1.1.1)$$

где  $\gamma_0$  — удельная объемная электропроводимость при нормальной температуре;

$B$  — постоянные величины, характерные для данного диэлектрика;

$T$  — абсолютная температура.

Соответственно величина удельного сопротивления определяется по формуле:

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{\frac{B}{T}} [\text{Ом} \cdot \text{см}]. \quad (1.1.2)$$

Зависимость диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь от температуры имеет сложный характер и определяется состоянием вещества, наличием или отсутствием в диэлектрике дипольной поляризации, а также частотой приложенного переменного электрического поля. На рис. 1.1 приведена зависимость  $\varepsilon=f(T)$  и  $\text{tg}\delta=f(T)$  для дипольных жидких диэлектриков.

Если потери в диэлектрике определяются только током проводимости, то зависимость  $\text{tg}\delta$  от температуры определяется по формуле

$$\text{tg}\delta = \frac{1.8 \cdot 10^{12}}{\varepsilon f} \gamma e^{\frac{A}{T}}. \quad (1.1.3)$$

где  $f$  — частота, Гц;  $\gamma_0$  — удельная объемная проводимость  $[\text{Ом} \cdot \text{см}]^{-1}$

при нормальной температуре;  $A$  — постоянная величина, характерная для данного диэлектрика;  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость.

Электрическая прочность характеризуется величиной пробивного напряжения, приложенного к диэлектрику.

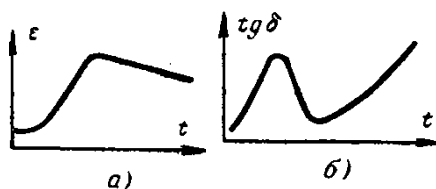


Рис. 1.1. Зависимость  $\epsilon=f(t)$  и  $\operatorname{tg} \delta = f(t)$  для диэлектриков.

Пробой, возникающий в результате нарушения теплового равновесия, принято называть тепловым пробоем. Величина пробивного напряжения в зависимости от температуры изменяется по экспоненциальному закону

$$U_{np} = K \cdot d \cdot e^{-\frac{at}{2}}, \quad (1.1.4)$$

где  $K$  — постоянная величина, характеризующая свойство данного диэлектрика при определенной частоте подводимого напряжения;  $a$  — температурный коэффициент электрической проводимости;  $d$  — толщина диэлектрика.

Однако, хотя приведенная формула хорошо подтверждается экспериментально, она не позволяет произвести практические расчеты из-за невозможности количественного определения постоянной величины  $K$ .

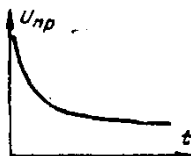


Рис. 1.2. Зависимость пробивного напряжения ( $U_{np}$ ) твердого диэлектрика от температуры.

Под действием низких температур изменяются свойства всех диэлектриков. Пластмассы становятся менее ударопрочными.

Наиболее низкая отрицательная температура, при которой диэлектрик работает без заметного ухудшения



механической прочностью и еще сохраняет эластичность, характеризует его морозостойкость. У большинства диэлектриков с понижением температуры ряд электрических свойств улучшается. Поэтому основными критериями определения морозостойкости являются изменения механических параметров материалов. Морозостойкость некоторых изоляционных пленок определяют по появлению трещин при их изгибании. Воздействие низкой температуры приводит к сильному снижению прочности на удар сложных и волокнистых фенопластиков, а также пластмасс на основе эфиров целлюлозы. Однако одновременно имеет место увеличение на 10-30% прочности на разрыв, статический изгиб и сжатие, а также увеличение твердости почти всех пластмасс. Так, например, прочность оргстекла на разрыв возрастает примерно в 2 раза.

Морозостойкость пластиков на основе полихлорвинила и сополимеров хлорвинила с винилацетатом находится в пределах  $-15\div-50^{\circ}\text{C}$ , полиэтилена  $-80^{\circ}\text{C}$ . Изделия из искусственной резины и изделия из каучуковых материалов при отрицательных температурах становятся хрупкими и неэластичными, на них образуются трещины. Воскообразные материалы и компаунды на их основе твердеют и растрескиваются. Наиболее вероятны разрушения в местах сопряжения материалов с различными коэффициентами теплового линейного расширения (пластмассы-металлы, металлы-стекла и т. д.). Наличие различных значений коэффициентов линейного расширения у заливочных компаундов, кожухов и заливаемых конструкций приводит к растрескиванию, обрыву выводов, образованию раковин и т. д. В механизмах наличие различных коэффициентов линейного расширения у разных металлов и замерзание смазки механических элементов может приводить к изменению зазоров между деталями, к заеданию и заклиниванию.

Неодинаковость коэффициентов объемного теплового расширения разных материалов может приводить к плохой работе разъемов из-за неодинаковых тепловых деформаций металла и пластмассовых частей.

Испытания на воздействие повышенной температуры проводят с целью определения способности РЭА сохранять свои параметры и внешний вид в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия верхнего значения температуры.

Различают два метода испытаний РЭА на воздействие по повышенной температуры: испытание под термической нагрузкой, испытание под совмещенной термической и электрической нагрузками.

Первому методу испытаний подвергаются нетеплорассеивающие изделия, температура которых в процессе эксплуатации зависит только от температуры окружающей среды, второму — теплорассеивающая РЭА, которая в рабочем состоянии нагревается за счет выделяемой мощности под действием электрической нагрузки.

Изделия, отобранные для испытаний, должны удовлетворять требованиям ТУ по внешнему виду и по значениям контролируемых параметров.

При испытании под совмещенной нагрузкой изделия, помещают в камеру и испытывают под нормальной или максимально допустимой для данных изделий электрической нагрузкой, соответствующей верхнему значению температуры внешней среды, устанавливаемой в зависимости от степени жесткости испытаний табл. 1.1.

В отечественной практике время испытания на повышенные температуры определяется временем, необходимым для достижения испытываемым изделием теплового равновесия. В зарубежной практике степень жесткости определяется не только температурой испытаний, но и временем выдержки при этой температуре и выбирается из ряда 2,16,72,96ч.

Степени жесткости испытаний на повышенные температуры  
— Таблица 1.1

Степень жесткости	1	4	6	7	8	9	10	11	12	13
Температура, °С	40	50	70	85	100	125	155	200	250	315

Возможны два способа проведения испытаний теплорассеивающих изделий. При первом способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры воздуха в камере, которая устанавливается равной верхнему значению температуры окружающей среды при эксплуатации (указанной в ТУ). При втором способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры участка (узла) изделия, который имеет наибольшую температуру или является наиболее критичным для работоспособности изделия.

Испытание первым способом возможно, когда объем камеры достаточно велик. Чтобы имитировать условия свободного обмена воздуха, в камере отсутствует принудительная циркуляция воздуха или ее охлаждающим действием можно пренебречь. Проведение испытания по первому способу возможно также в случае, когда температура перегрева участка (узла) изделия, определенная в нормальных климатических условиях (вне камеры), не превышает 25°С и разность заданной температуры воздуха в камере при испытании и температуры нормальных климатических условий не превышает 35° С. В остальных случаях испытание теплорассеивающих изделий следует проводить вторым способом. При испытании изделий только под термической нагрузкой их выдерживают при данной температуре в течение заданного времени.

Измерение параметров испытываемых изделий производят после достижения теплового равновесия без извлечения изделий из камеры. Для проведения, измерения изделия подключают к наружным коммутационным цепям измерительной системы. Если измерение параметров без извлечения из камеры технически невозможно, то допускается изъятие изделия из камеры для измерения. Однако время измерения не должно превышать 3 мин, если другое значение времени специально не оговорено в ТУ.

Для испытаний на повышенные температуры применяют специальные камеры, тепла, которые должны обеспечивать в случае необходимости подачу электрической нагрузки и измерение параметров — критериев годности ЭА в процессе испытаний. Размещение датчиков контроля температуры при испытании теплорассеивающей ЭА должно быть таким, чтобы учитывалась возможность влияния составляющих ее изделий друг на друга. Тогда при установлении температурного режима выходные измерительные приборы будут показывать истинную температуру контролируемых изделий. Поскольку испытание на теплоустойчивость без принудительной циркуляции воздуха является предпочтительным, то для имитации условий свободного обмена воздуха камера должна быть достаточно велика по сравнению с размером испытываемого изделия и его суммарным теплорассеиванием.

Для воспроизводимости результатов испытаний внутренние

стенки камеры должны быть выполнены из материала, имеющего степень черноты не менее 0,8. Чтобы ограничить влияние излучения, температура стенок камеры не должна отличаться от заданной температуры испытания более чем на 3%. Это требование относится ко всем частям стенок камеры, причем образцы не должны испытывать прямого воздействия любого нагревательного или охлаждающего элемента, не

отвечающего этому требованию. Точность поддержания температуры в полезном объеме камеры должна быть не ниже  $3^{\circ}\text{C}$  для температур до  $200^{\circ}\text{C}$  и  $7^{\circ}\text{C}$  для температур свыше  $200^{\circ}\text{C}$ . Камера также должна обеспечивать при испытаниях изделий абсолютную влажность не более 20 г водяных паров в  $1\text{ м}^3$  воздуха (это приблизительно соответствует относительной влажности 50% при температуре  $35^{\circ}\text{C}$ ).

Минимально допустимое расстояние между испытываемым изделием и стенкой камеры определяют исходя из объема изделия и рассеиваемой им мощности. Однако в любом случае это расстояние должно быть не менее 100 мм. Применяемые для крепления малогабаритных изделий материалы должны обладать высокой теплостойкостью и низкой теплопроводностью.

Для испытания ЭА на воздействие повышенной температуры используют серийно выпускаемые отечественной промышленностью камеры тепла типа КТ с полезным объемом от 0,55 до  $1\text{ м}^3$  и диапазоном температур  $20\text{—}300^{\circ}\text{C}$ . Получение повышенных температур в этих камерах осуществляется электрическими нагревателями, мощность которых определяется не столько

высокими температурами, сколько наибольшей скоростью изменения температуры с учетом теплоемкости испытуемых изделий. Получение необходимой температуры в камере достигается с помощью включения или отключения электронагревателя. Обычно камеры тепла имеют блочную конструкцию. Это позволяет расширить возможности испытательных камер.

Для измерения и автоматического регулирования температуры в камерах применяют электронные мосты и автоматические электронные потенциометры, работающие в комплекте с датчиками температуры.

В качестве датчиков температуры применяют термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления.

Термоэлектрические преобразователи работают в диапазоне температур  $-50...+1800^{\circ}\text{C}$  и выпускаются в разных исполнениях, в зависимости от инерционности, устойчивости к механическим Воздействиям, герметичности и т. д. Для измерения малых температур (до  $600^{\circ}\text{C}$ ) применяют термопреобразователи типа ТХК (хромель-копелевый), которые развивают наибольшую термо-ЭДС и обладают высокой чувствительностью.

Термопреобразователи сопротивления выпускаются трех видов: платиновые (ТОП), медные (ТСМ) и полупроводниковые (ПТС).

В последнее время получают распространение цифровые приборы для измерения температуры в диапазоне  $-200...+750^{\circ}\text{C}$  с приведенной погрешностью 0,4% и быстродействием до 1 измерения/с.

Испытание на воздействие пониженных температур проводят с целью проверки параметров изделий в условиях воздействия низкой температуры внешней среды, а также после пребывания их в этих условиях. Изделия помещают в камеру холода, после чего устанавливают нижнее значение температуры по ТУ (табл. 1.2). Материалы, применяемые для крепления малогабаритных изделий, должны обладать высокой теплопроводимостью.

Степени жесткости испытаний на холодоустойчивость —  
Таблица 1.2

Степень жесткости	III	IV	VII	VIII
Температура, $^{\circ}\text{C}$	-10	-25	-45	-60

Время выдержки при заданной температуре выбирают в зависимости от установленной жесткости испытаний из временного ряда значений, приведенных в ТУ. Производятся измерения тех же параметров, что и при испытании. На воздействие повышенных температур.

Для проверки работоспособности изделия предусматривается выдержка изделий под электрической нагрузкой при заданной температуре.

Испытания проводят в камерах холода. Температура стенок

камеры после достижения температурной стабильности не должна отличаться от температуры испытания более чем на 8%.

Целью испытаний на холодоустойчивость является определение способности изделий сохранять свои параметры в условиях воздействия низкой температуры.

Помимо испытаний на воздействие рабочей температуры, при которой изделие должно работать, иногда проводят испытания на воздействие предельной температуры. Данный вид испытаний имеет целью проверить, выдержит ли изделие температуру, при которой оно может транспортироваться или храниться.

Процесс (метод) проведения испытаний. Последовательность выполнения операций в методике проведения испытаний на холодоустойчивость мало чем отличается от последовательности испытаний на теплоустойчивость.

После внешнего осмотра изделие помещают в камеру и изменяют заданные параметры в нормальных условиях. Далее устанавливают в камере температуру, предусмотренную ТУ, программой испытаний или методикой и соответствующую определенной степени жесткости испытания.

При установившемся значении рабочей температуры изделие выдерживают в камере в течение времени,

оговоренном в ТУ, ПИ или методике. Время выдержки должно быть достаточным для охлаждения изделия по всему объему и составляет от 0,5 до 6 ч. По окончании выдержки производят измерения параметров изделий, находящихся в камере. Особое внимание следует обращать на параметры, характеризующие работу механизмов. Когда измерение параметров не может быть произведено внутри камеры, допускается изъятие изделий из камеры. Время изъятия для РЭА не должно превышать 15 мин, а для элементов 3 мин.

Испытаниям на воздействие предельных температур подвергают изделия в выключенном состоянии без удаления предусмотренной для них упаковки. Понизив температуру до предельного значения, осуществляют выдержку в течение определенного времени. Предельная температура и время выдержки предусматриваются ТУ, ПИ или методикой исследования. По окончании испытания изделия или оставляют в камере, где повышают температуру до  $+25\pm 10^{\circ}\text{C}$  со скоростью 1-2 град/мин, или переносят из камеры в нормальные климатические условия. Затем изделие выдерживают в выключенном состоянии в течение времени, указанном в ТУ, ПИ или методике, но не менее 2-4 ч, а в нормальных климатических условиях до 4-8 ч. В зависимости от степени соответствия изделия требованиям принимают решение о результатах испытаний.

Иногда с испытанием на холодоустойчивость совмещают испытания на воздействие инея и росы. Изделия помещают в камеру холода и выдерживают в выключенном (не рабочем) состоянии при установленной низкой температуре (например  $-20\div +5^{\circ}\text{C}$ ) в течение заданного времени (2 ч), после чего его извлекают из камеры и помещают в нормальные климатические условия. В соответствии с требованиями ТУ, ПИ или методики к изделию подводится питающее напряжение или подключается соответствующая электрическая нагрузка. Во включенном



состоянии изделие выдерживается в течение заданного времени (около 3 ч) и у него периодически (каждые 30-60 мин) проверяют установленные параметры, которые должны соответствовать нормам.

Важным видом температурных испытаний являются испытания на циклическое воздействие температуры, при которых изделие подвергается 3-5 воздействиям температурных циклов в определенной последовательности. Принято быстрые изменения температуры называть термоударами.

## 2.2. Задание второе

Изучить основные характеристики камеры предназначенной для испытаний изделий и материалов на воздействие отрицательной и положительной температур по ГОСТ 20.57.406-81.

Камера тепла и холода обеспечивает поддержание температуры от  $-65^{\circ}\text{C}$  до  $155^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). средняя скорость изменения температуры не менее  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , электрическая мощность, потребляемая камерой не более 9,8 кВА. Максимальный вес испытываемого изделия 50кг.

Получение и поддержание температурного режима в испытательной камере обеспечивается с помощью холодильного агрегата и устройства нагревательного. Заданный температурный режим осуществляется за счет динамического равновесия между количеством тепла, выделяемого нагревателем, и количеством тепла, отводимым из камеры испарителя за счет работы камеры.

Камера представляет собой прямоугольной формы конструкцию рис.1.3 Рабочий объем (место расположения испытываемого объекта) камеры ограничивается тонколистовой сталью с теплоизолятором. В нижней части установки расположен холодильный агрегат.

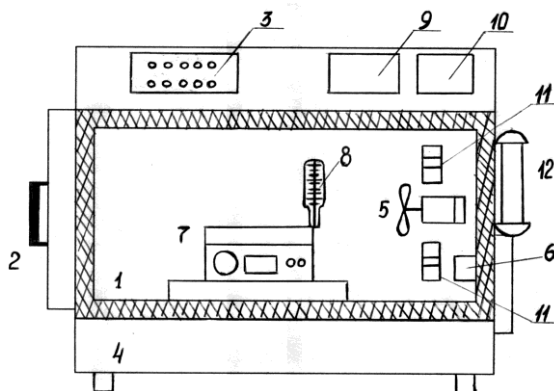


Рис.1.3 Камера тепла и холода

- 1.Рабочий объем. 2. Дверь. 3. Панель управления. 4. Холодильный агрегат. 5. Вентилятор. 6. Испарители. 7. Испытываемый объект. 8. Термометр. 9. Самописец. 10. Выключатель автоматический. 11. Устройство нагревательное. 12. Конденсатор.

На задней стенке испытательной камеры установлены испарители(6). Трубопроводами испарители соединены с холодильным агрегатом (4), в нем происходит кипение хладона-13. Устройство нагревательное (11) установлено на задней стенке испытательной камеры над испарителем и служит для поддержания заданного температурного режима в полезном объеме испытательной камеры. Нагревательное устройство состоит из нагревательного элемента (открытая спираль из нихромовой проволоки), закрепленного с помощью керамического изолятора на внутренней стенке камеры.

Для обеспечения циркуляции воздуха через испарители (холодильника) и нагреватели применен осевой вентилятор (5). Агрегат холодильный представляет собой холодильную машину, состоящую из компрессора, воздушного конденсатора, ресивера и испарителя. Поддержание низких

температур осуществляется отводом тепла за счет испарения хладоносителя в испарителе (6) с последующей конденсацией паров в конденсаторе (12).

Управление тепловым процессом осуществляется системой автоматики. В случае превышения предельно допустимой температуры режима, общий пускатель камеры отключается, срабатывают световая и звуковая аварийные сигнализации.

### ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Установить общий выключатель камеры в положение ОТКЛ (отключено).

2. Задать требуемую температуру в камере программным переключателем на передней панели блока терморегулирования. При этом установить тумблер блока ВКЛ – ОТКЛ в положение ОТКЛ.

3. Установить при положительной требуемой температуре ручку переключателя скорости изменения температуры на передней панели блока управления в положение, соответствующее требуемой скорости.

4. Установить указатель задачи МНОГО (красного цвета) электронного моста РІ на 5°С выше требуемой в камере положительной температуры. Установит тумблер включения сети в положение ВКЛЮЧЕНО.

5. Установить кнопочный переключатель АВАРИЯ на передней панели блока управления в положение ВКЛЮЧЕНО (нажать)

6. Поместить испытуемые изделия в рабочий объем камеры.

7. Закрыть дверь камеры.

8. Включить общий выключатель камеры, при этом на панели должна включиться световая сигнализация лампа СЕТЬ (зеленого цвета).

9. Установить сетевой тумблер блока терморегулирования в положение ВКЛЮЧЕНО.

10. Нажать кнопку ПУСК на передней панели блока управления, при этом должна загореться лампа ПУСК.

11. Произвести включение компрессоров холодильного агрегата в зависимости от требуемого режима согласно табл. 1.3.

Режим работы компрессоров — Таблица 1.3

Диапазон °С	-65 - +10	+10 - +35	+35 - +50	+50 - 155
Получение режима				
Поддержание без нагрузки				
Поддержание с нагрузкой 0,4 кВт				

12. Задать в камере температуру ( $+15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) после окончания испытаний в заданном режиме.

13. Отключить камеру нажатием кнопки СТОП на передней панели блока управления, выключить общий выключатель камеры сетевой тумблер блока терморегулирования.

14. Открыть дверь камеры и выгрузить испытуемое изделие.

## МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

Источником взрывоопасности является холодильный аппарат при стоянке или эксплуатации его при температуре окружающей среды выше допустимой, а также при работе холодильного агрегата на хладагонах выше допустимого.

Источником опасности термических ожогов являются внутренние поверхности испытательной камеры, испытываемые изделия после окончания испытаний, а также жидкий хладон в случае его утечки.

### 3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Получаем у преподавателя испытываемое изделие. Выполняем в соответствии с пунктом «Порядок работы» все операции по управлению камерой тепла и холода.

Испытательные параметры (температура положительная, температура отрицательная, скорость подъема температуры...) уточняются перед подготовкой испытываемого изделия для загрузки в камеру тепла и холода.

При проведении испытаний осуществляем регистрацию электрических параметров испытываемого образца.

### 4. ОТЧЕТ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отчет по индивидуальной работе должен содержать:

- а) наименование работы и ее цель;
- б) краткие сведения из теории;
- в) результаты выполнения заданий;
- г) выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияет положительная и отрицательная температура на диэлектрические характеристики радиоматериала?
2. Перечислите основные параметры изучаемой камеры тепла и холода.
3. Как влияет повышенные и пониженные температуры на работу диодов, резисторов и транзисторов?
4. Чем отличается последовательность выполнения операций в методике проведения испытаний на холодоустойчивость от последовательности испытаний на теплоустойчивость?
5. Возможно ли совмещение испытаний на холодоустойчивость с испытаниями на воздействие росы и инея?
6. Назовите способы получения низких температур.
7. Что такое косвенный способ охлаждения?
8. Перечислите наиболее распространенные виды хладагентов.
9. Представьте структуру камеры с непосредственным охлаждением. Ее достоинства и недостатки.
10. Приведите способы регистрации изменений температуры испытуемого образца.
11. Перечислите основные операции управления камерой «тепла и холода» при испытании РЭА на воздействие положительных и отрицательных температур.
12. Перечислите основные меры предосторожности при проведении испытаний РЭА на воздействие положительных и отрицательных температур.
13. Каким образом достигается поддержание низких температур в испытательной установке?

14. Приведите структурную схему изучаемой камеры тепла и холода.

15. Для каких целей используется вентилятор в испытательной камере тепла и холода?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИСПЫТАНИЕ РЭА НА УДАР**

### **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Среди множества внешних факторов, воздействующих на РЭА, следует отметить механические воздействия, из которых особую опасность представляет удар.

Установлено, что наибольшая опасность повреждения возникает при наименьшей длительности нарастания импульса. Опасность повреждения вследствие удара обычно меньше для системы с затухающими колебаниями, чем для систем с незатухающими колебаниями, особенно для системы с большим числом степеней свободы. Возможными причинами ударных воздействий на изделия могут быть столкновения, взрывы, сверхзвуковое давление, случайные падения и т.д. Указанные воздействия могут возникать при эксплуатации РЭА на самолетах, кораблях, ракетах, автомобилях, вездеходах, а также при их транспортировании, когда они подвергаются неосторожному обращению обслуживающего персонала.

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен:

- 1) изучить влияние удара на радиоэлектронную аппаратуру;
- 2) рассмотреть механизм воздействия ударной нагрузки;
- 3) ознакомиться с существующими видами ударных стендов;

- 4) уяснить методику проведения испытания на ударном стенде;
- 5) провести испытания на действующем пакете;
- б) составить отчет о выполненной работе.

Информацию о испытаниях РЭА на воздействие удара можно использовать при курсовом и дипломном проектировании.

При выполнении лабораторной работы следует обратить особое внимание на выполнение техники безопасности.

2. Задание к лабораторной работе и методические указания по их выполнению.

2.1. Задание первое.

Изучить влияние ударных нагрузок на РЭА.

Для выполнения этого задания необходимо проработать теоретический материал в /1. с.235-237. 2.с.52-60. 3.с.131-142, 4./

Возникновение ударов связано с резким и быстрым перемещением объекта, на котором установлена аппаратура. Возможны случаи, когда прикладываемая при этом нагрузка превышает допустимый безопасный уровень, что приводит к отказу РЭА. Действие механических ударов сопровождается возбуждением затухающих колебаний, т.е. неустановившейся вибрацией на частотах собственных колебаний элементов и частей конструкции. Уровни разрушающих усилий возрастают, когда элементы конструкции РЭА резонируют на частотах возмущений, вызванных ударом.

Удар, испытываемый РЭА, зависит от веса комплекса оборудования, в который она входит, и ее положения на объекте. Ускорения, возникающие при ударе, можно подсчитать по формуле (2.1.1):



$$a = \frac{V^2}{2gS}, \quad (2.1.1)$$

где  $V$  – мгновенная скорость в момент удара, см/ок;

$g$  — ускорение свободного падения;

$S$  – перемещение при ударе или суммарная величина упругих и остаточных деформаций ударяющихся элементов.

В механике удар твердого тела рассматривается абсолютно как некоторый скачкообразный процесс, продолжительность которого бесконечно мала. Во время удара в точке соприкосновения соударяющихся тел возникают большие, но мгновенно действующие силы, приводящие к конечному изменению количества движения. В реальных системах всегда действуют конечные силы в течение конечного интервала времени, и соударение двух движущихся тел связано с их деформацией вблизи точки соприкосновения и распространением волны сжатия внутри этих тел. Продолжительность удара зависит от многих физических факторов: упругих характеристик материалов соударяющихся тел, их формы и размеров, относительной скорости сближения и т.д.

Изменение ускорения во времени принято называть импульсом ударного ускорения или ударным импульсом, а закон изменения ускорения во времени – формой ударного импульса. К основным параметрам ударного импульса относят пиковое ударное ускорение (перегрузку), длительность действия ударного ускорения и форму ударного импульса.

Результат воздействия удара на изделие (реакция изделия) зависит от его динамических свойств – массы, жесткости и частоты собственных колебаний. Под реакцией РЭА на воздействие ударного импульса понимают отклик изделия на это воздействие. Различают несколько основных видов реакции РЭА, соответствующих баллистическому (или квазиамортизационному), квазирезонансному и

статистическому (или квазистатистическому) режимам возбуждения.

## 2.2. Задание второе.

Ознакомиться с характеристиками режимов испытаний /3.с.136-138/

Характеристики режимов испытания. Различают два вида испытания изделий на ударную нагрузку: на ударную прочность и ударную устойчивость. Испытание на ударную прочность проводят с целью проверки способности РЭА противостоять разрушающему действию механических ударов, сохраняя свои параметры после воздействия ударов в пределах, указанных в ТД на изделие. Испытание на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности РЭА выполнить свои функции в условиях действия механических ударов.

При испытании на ударную нагрузку испытываемые РЭА подвергают воздействию либо одиночных, либо многократных ударов. В последнем случае частота следования ударов должна быть такой, чтобы можно было выполнить контроль проверяемых параметров РЭА. Основные характеристики режимов испытания РЭА при многократном воздействии ударов – пиковое ударное ускорение и общее число ударов – задаются в соответствии со степенью жесткости испытаний (табл.2.2.1).

Основные характеристики режимов испытания — Таблица 2.2.1

Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение, g	Общее число ударов для предусмотренной в стандартах и ТУ на изделия выборки объемом	
		3 и менее	более 3

I	15	12 000	10 000
II	40	12 000	10 000
III	75	6 000	4 000
IV	150	6 000	4 000

Форма ударного импульса как одна из важнейших характеристик, обеспечивающих единство испытаний, должна регламентироваться в ТУ. Самым опасным для изделия является трапеце трапецеидальный импульс, поскольку он имеет наиболее широкую область квазирезонансного возбуждения и наибольший коэффициент динамичности в этой области. Однако импульс трапецеидальной формы трудно воспроизводится на лабораторном оборудовании. Пилообразный импульс позволяет достигнуть наилучшей воспроизводимости испытаний, так как в силу несимметричности его остаточный спектр является непериодическим. Но получить пилообразный импульс труднее, чем импульсы другой формы. На практике при испытании чаще всего используют полусинусоидальный ударный импульс, формирование которого наиболее просто и требует наименьших затрат энергии.

Испытание на ударную нагрузку проводят в квазирезонансном режиме возбуждения. Длительность действия ударного ускорения  $\tau$  выбирают в зависимости от значения низшей резонансной частоты  $f_{он}$  изделия:

Фон , Гц	60 и мене е	60...10 0	100...20 0	200...50 0	500...100 0	Свыш е 1000
$\tau$ , мс	18±5	11±4	6±2	3±1	2±0,5	1±0,3

Если изделия имеют амортизаторы, то при выборе длительности действия ударного ускорения учитывают

низшие резонансные частоты самих изделий, а не элементов защиты.

В качестве проверяемых выбирают параметры, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости РЭА в целом (искажение выходного сигнала, стабильность характеристик функционирования и т.д.).

При разработке программы испытаний направления воздействий ударов устанавливают в зависимости от конкретных свойств испытываемых РЭА. Если свойства РЭА неизвестны, то испытание следует проводить в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При этом рекомендуется выбирать (из диапазона, оговоренного в ТУ) длительность ударов, вызывающих резонансное возбуждение испытываемых РЭА.

Ударную прочность оценивают по целостности конструкции (например, отсутствию трещин, наличию контакта). Изделия считают выдержавшими испытание на ударную прочность, если после испытания они удовлетворяют требованиям стандартов и ПИ для данного вида испытания.

Испытание на ударную устойчивость рекомендуется проводить после испытания на ударную прочность. Часто их совмещают. В отличие от испытания на ударную прочность испытание на ударную устойчивость осуществляют под электрической нагрузкой, характер и параметры которой устанавливают в ТУ и ПИ. При этом контроль параметров РЭА производят в процессе удара для проверки работоспособности изделий и выявления ложных срабатываний. Изделия считают выдержавшими испытание, если в процессе и после него они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

### 2.3. Задание третье.

Изучить устройства для испытания РЭА на воздействие удара /1. с.263-268. 2. с.171-178. 3. с.138-143/

Устройства для испытания. Ударные стенды классифицируют по следующим признакам:

По характеру воспроизводимых ударов – стенды одиночных и многократных ударов;

По способу получения ударных перегрузок – стенды свободного падения и принудительного разгона платформы с испытываемым изделием;

По конструкции тормозных устройств – с жесткой наковальней, с пружинящейся наковальней, с амортизирующими резиновыми и фетровыми прокладками, со сминающимися деформируемыми тормозными устройствами, с гидравлическими тормозными устройствами и т.д.

В зависимости от конструкции ударного стенда и в особенности от применяемого в нем тормозного устройства получают ударные импульсы полусинусоидальной, треугольной и трапецеидальной формы.

Для испытания РЭА на одиночные удары служат ударные стенды копрового типа, а на многократные – стенды кулачкового типа, воспроизводящие удары полусинусоидальной формы. В этих стендах используется принцип свободного падения платформы с испытываемым изделием на амортизирующие прокладки.

Основными элементами ударного стенда копрового типа (рис.2.3.1.) являются: стол 3; основание 7, служащее для гашения скорости стола в момент удара; направляющая 4, обеспечивающая горизонтальное положение стола в момент удара; прокладки 5, формирующие ударный импульс.

Энергия, необходимая для создания удара, накапливается в результате подъема стола с закрепленным на нем испытываемым изделием на заданную высоту. Для подъема стола и последующего его сбрасывания стенд снабжается приводом и механизмом сброса. Кинетическая

энергия, приобретенная телом в процессе предварительного разгона, гасится в результате соударения с неподвижной преградой. Длительность ударного воздействия складывается из длительности торможения ударяющего тела (активный этап удара) и длительности восстановления упругих деформаций соударяющихся тел (пассивный этап удара). Ускорение определяется скоростью соударения и зависит от высоты падения. В конце торможения ударяющего тела скорость соударения падает до нуля, а ударное ускорение и перемещение тел относительно друг друга достигают максимальных значений. Условия воспроизведения закона изменения ударного ускорения во времени определяются начальной скоростью соударения тел, максимальным перемещением при соударении и максимальным ударным ускорением. Стенды копрового типа с жесткой наковальной используют для получения ударных импульсов с большим ударным ускорением и очень малой длительностью (единицы микросекунд).

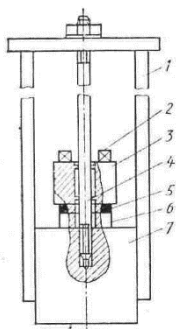


Рис. 2.3.1. Схема установки для испытания РЭА на воздействие одиночных ударов.

1 – стойка; 2 – изделие; 3 – стол; 4 – направляющая; 5 – амортизирующие прокладки; 6 – накладка; 7 – основание.

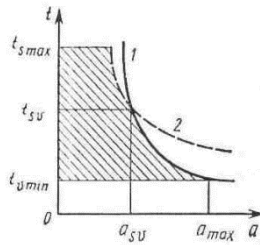


Рис. 2.3.2. Эксплуатационные зависимости длительности фронта ударного импульса от ударного ускорения при ограничении по скорости соударения (1) и по пути торможения (2).

Ограничивающими условиями при воспроизведении ударной нагрузки являются соблюдение требуемой скорости и заданного пути торможения, соответствующих максимальной деформации тормозного устройства. Предельные эксплуатационные характеристики ударного стенда можно получить, используя зависимости (2.3.1) и (2.3.2)

$$t_v = \frac{V_{np}}{Aa}; \quad (2.3.1)$$

$$t_s = \sqrt{Snp(Ba)}, \quad (2.3.2)$$

где  $t_v$  и  $t_s$  – длительности фронта воспроизводимого ударного импульса с учетом ограничения по предельным скорости и пути торможения ударяющего тела;  $V_{np}$  и  $S_{np}$  – предельная скорость и предельно допустимый тормозной путь ударяющего тела;  $A$  и  $B$  – коэффициенты, значения которых зависят от формы фронта ударного импульса;  $a$  – ударное ускорение.

Тогда ударное ускорение  $a_{sv}$  формула (2.3.3) и длительность  $t_{sv}$  формула (2.3.4) фронта воспроизводимого ударного импульса, удовлетворяющие одновременно ограничениям по скорости и пути торможения ударяющего тела,

$$a_{sv} = \frac{B}{A^2} \frac{V^2 n p}{S n p}, \quad (2.3.3)$$

$$t_{sv} = \frac{A}{B} \frac{S n p}{V n p}. \quad (2.3.4)$$

На рис. 2.3.2. приведены эксплуатационные характеристики  $t_v=f(a)$  и  $t_s=f(a)$  ударного стенда. Заштрихованная область показывает, какие длительности фронта ударного импульса и ударные ускорения можно воспроизводить на ударном стенде. Значения  $a_{max}$ ,  $t_{vmin}$ ,  $t_{smax}$  соответствуют предельным эксплуатационным характеристикам стенда и определяются по формулам (2.3.1.), (2.3.2.).

На рис. 2.3.3. показано устройство механического стенда кулачкового типа. Стол 1 представляет собой стальную плиту с пазом для крепления изделия, на нижней стороне которой имеются направляющие 4, перемещающиеся во втулках, укрепленных в кронштейнах станины. На специальных упорах чугунной станины расположены амортизирующие прокладки 5 для регулирования ударного ускорения, а в нижней части станины имеются резиновые амортизаторы 8, поглощающие часть энергии удара. Приводной механизм, состоящий из клиноременной передачи 2 и электродвигателя 7, установлен на площадке внутри станины. Натяжение ремня регулируют изменяя набор шайб, размещенных под электродвигателя. Подъем стола осуществляется с помощью кулачка 3, вращающегося от приводного механизма.

При испытании на воздействие многократных нагрузок ударные стенды должны обеспечивать получение заданного ускорения с погрешностью не более  $\pm 20\%$ . Ударная перегрузка, длительность и форма ударного импульса как в стендах копрового типа, так и в стендах кулачкового типа регулируются в широких пределах, как правило, с помощью



амортизирующих войлочных, фетровых, резиновых, пластмассовых или комбинированных прокладок. Для формирования полусинусоидального импульса длительностью 0,5..5 мс применяют резину средней и повышенной твердости или фетр; для формирования импульса большей длительности – резины малой твердости или губчатые; для импульсов длительностью менее 0,5 мс может оказаться целесообразным использование винипласта, фторопласта и других листовых материалов. В некоторых случаях применяют многослойные прокладки. При этом между резиновыми могут устанавливаться металлические прокладки их листового алюминия или стали толщиной 1..2 мм. Удары длительностью 0,1 и менее рекомендуется получать соударением стальных закаленных поверхностей – плоской и сферической. В этом случае стол выполняется в виде бойка.

Помимо рассмотренных механических ударных стендов применяют электродинамические и пневматические ударные стенды. В электродинамических стендах через катушку возбуждения подвижной системы пропускают импульс тока, амплитуда и длительность которого определяют параметры ударного импульса.

Так как принцип действия этих стендов основан на взаимодействии электромагнитных полей, то их конструкции имеют много общего с электродинамическими вибростендами. На пневматических стендах ударное ускорение получают при соударении стола со снарядом, выпущенным из пневматической пушки.

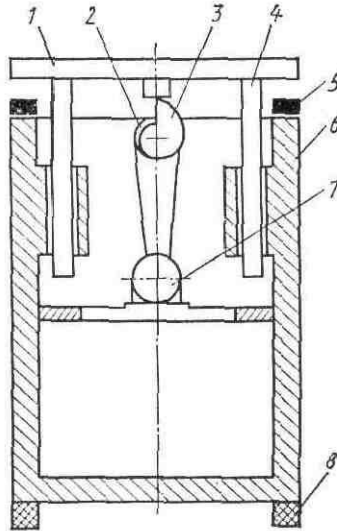


Рис.2.3.3. Схема стенда для испытания РЭА на воздействие многократных ударов:

1- стол; 2 – клиноремная передача; 3 – кулачок; 4 – направляющие; 5 – амортизирующая прокладка; 6 – станина; 7 – электродвигатель; 8 – резиновые амортизаторы.

Приспособления для крепления изделий, испытываемых на удар, как и в случае вибрационных испытаний, должны передавать ударные воздействия к изделиям с минимально возможными искажениями. Для этого необходимо, чтобы режим возбуждения приспособления при испытании был квазистатическим, для чего должно выполняться условие  $f_0 \tau \geq K$ , где  $f_0$  – собственная частота наиболее слабого звена, определяющего жесткость всего приспособления в целом;  $\tau$  - наименьшая расчетная длительность импульса,  $K$  – коэффициент, зависящий от условий испытания, массы и габаритных размеров изделия, формы ударного импульса (для импульса полусинусоидальной формы принимают  $K=2..5$ ).

Собственные частоты приспособления и испытываемого изделия не должны совпадать друг с другом, а также с частотой основной гармоники наложенных колебаний ударного ускорения, вносимых испытательной установкой. Для трапецеидального и пилообразного импульсов принимают  $f_{от}$  более 10 и 2 соответственно.

Характеристики некоторых ударных стендов приведены в табл.2.3.1.

Характеристики некоторых ударных стендов — Таблица 2.3.1

Тип стенда	Грузоподъемность, Н	Число ударов в минуту	Максимальное ускорение, g	Длительность, мс	Принцип работы
УУ - 50/150	5 000 50 500 50	20...120 5...8 0	150 1000 500 1000	40 1,5...20 0,6...20 0,5...10	Механический « « Электродинамический
УУ - 5/1000	20 200	10...120	200 500	1,5...12 1,5...40	То же « «
ТТ-50/500	10 50	20...80	6000 3000	0,1...1,0 0,4...11	Пневматический То же
К-5-1000	20	5...8 0 5	3000	0,4...12	
УУ					

Э- 2/2 00 УУ					
Э- 20/ 200 УУ					
Э- 1/6 000					
К- 5/3 000					
К- 2/3 000					

Конструкцию приспособления обычно выбирают в виде плиты, сварного куба или рамы сотовой конструкции. Наиболее широкое распространение получила сотовая конструкция, обладающая высокими точностью и механической прочностью при небольшой массе. Для повышения жесткости конструкции корпуса приспособления обычно применяют ребра жесткости, усиливающие планки.

При измерении параметров удара необходимо регистрировать ускорение (амплитуду), длительность и форму ударного импульса. Для характеристики испытательного режима в случае, когда амплитуда наложенных колебаний составляет более 5% амплитуды ударного импульса, регистрируют также относительную амплитуду и частоту наложенных колебаний и время нарастания ударного ускорения. Для измерения параметров ударного импульса применяют специальную аппаратуру (рис.2.3.4.).

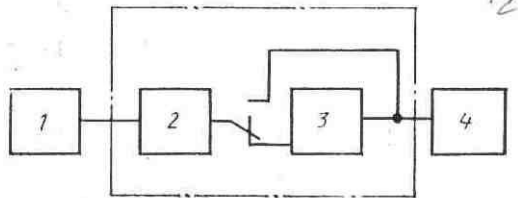


Рис. 2.3.4. Структурная схема аппаратуры для измерения параметров удара:

1 – измерительный преобразователь; 2 – согласующий усилитель; 3 – фильтр; 4 – регистрирующий прибор.

Для преобразования механических колебаний в электрические используют, как правило, пьезоэлектрический датчик 1. При измерении параметров удара датчик должен быть жестко закреплен в контрольной точке. Усилитель 2 служит для согласования большого выходного сопротивления датчика с малым входным сопротивлением регистрирующего прибора 4. Для снижения уровня шумов согласующего усилителя, исключения влияния резонанса датчика и уменьшения амплитуды суперпозиции колебаний, искажающих форму ударного импульса и затрудняющих измерения, в схему включен фильтр 3, имеющий максимально достижимую равномерность частотной характеристики в полосе пропускания. На экране электронного осциллографа со ждущей разверткой и длительным послесвечением, применяемого в качестве регистрирующего прибора, непосредственно наблюдают форму ударного импульса и производят измерение его параметров.

#### 2.4. Задание четвертое

Ознакомиться с конструкцией, характеристиками, условиями

Эксплуатации установки ударной 12МУ-50/14070-1.

Схема ударного стенда соответствует схеме изображенной на рисунке 2.3.3.

Основные технические данные и характеристики ударного стенда.

1. Установка предназначена для технологических испытаний изделий и приборов электронной техники массой до 50 кг., включая массу приспособления для крепления изделия, на воздействие ударной тряски с ускорение от  $98\text{м/с}^2$  (10 g) до  $1470\text{м/с}^2$  (150 g) и частоте от 10 до 100 ударов в минуту (+2 удара в минуту).

2. Установка может работать при температурах от 10 до  $35^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха от 65 до 80%, атмосферном давлении от  $8\cdot 6\cdot 10^4$  (650) до  $10,6\cdot 10^4$  (800)Па (мм рт.ст).

3. Установка должна эксплуатироваться в помещении общей площадью  $7,5\text{ м}^2$  в напольном или подвальном этаже здания. В том числе стенд ударный в помещении площадью  $5\text{ м}^2$  оборудованном:

- звукоизоляцией, снижающей уровень звукового давления до установленных норм;
- заземляющим контуром, сопротивление не более 4 Ом;
- бетонным фундаментом.

4. При эксплуатации стенд ударный должен быть установлен на фундамент.

5. Питание установки от сети переменного тока напряжением  $220\pm\frac{22}{11}$  В, частоты 50 Гц.

6. Потребляемая электрическая мощность (максимальная) не более 1кВт.

7. Установка обеспечивает получение сочетаний ускорений и длительности (КР) ударного импульса согласно табл.2.4.1.

*Примечание: Знаком (КР) отмечены параметры, которые являются критериями работоспособности установки.*

8. Установка обеспечивает плавную регулировку ускорения в соответствии с табл.2.4.1.

9. Установка обеспечивает ступенчатую регулировку длительности ударного импульса в соответствии с табл.2.4.1.

10. Установка с нагрузкой на столе массой до 50 кг обеспечивает частоту от 10 до 100 ударов в минуту. Погрешность установки частоты ударов не более  $\pm 2$  удара в минуту. Регулировка частоты ударов плавная.

11. Форма ударного импульса (КР) в контрольной точке (центре) полусинусоидальная и соответствует форме изображенной на рис.1. с допустимыми отклонениями ускорения и длительности ударного импульса в пределах, ограниченных сплошными линиями.

12. Значение ускорения в направлении, основному направлению перпендикулярном основному направлению ударного импульса, измеренное в контрольной точке стола, не превышает 30% от значения ускорения ударного импульса в основном направлении.

13. Значение ускорения в различных точках стола отличается от значения ускорения в контрольной точке не более чем на 15%.

14. Значение ускорения вторичного удара, измеренное в контрольной точке, не превышает 20% от значения ускорения основного удара (КР).

15. Установка обеспечивает длительность непрерывной работы в течение 8 часов, и не более 24 000 ударов.

16. Нарботка на отказ при доверительной вероятности  $P^*=0,8$  не менее 1000 часов.

Сочетание ускорений и длительности ударного импульса —  
Таблица 2.4.1

Нагрузка на стол массой, кг	Длительность ударного импульса, мс	Ускорение ударного импульса м/с <sup>2</sup> (g)	Ускорения, соответствующие рекомендациям МЭК, м/с <sup>2</sup> (g)	
			62-2-27	68-2-29
20...50	16	147 (15)	-	-
Без нагрузки	11	98 (10)...147 (15)	147 (15)	-
50	11	98 (10)...294 (30)	147(15); 294(30)	-
Без нагрузки	6	98(10)..390(40)	294(30)	245(25),390(40)
50	6	98(10)...557(60)	294(30)	254(25),390(40)
Без нагрузки	3	98(10)...735(75)	490(50)	-
50				

3. Лабораторное задание и методические указания по его выполнению.

Закрепляем испытываемое изделие на ударном стенде под руководством инженера. Включаем сеть (рис.3.1.). Выставляет ручкой регулировки частоту ударов. По шкале «частота ударов» регистрируем число ударов. В случае отказа элементов крепления остановить испытания, нажав клавишу СТОП.



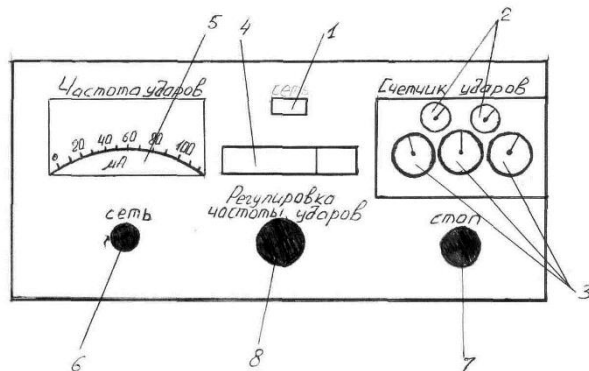


Рис.3.1. Пульт управления ударной установки.

1 – датчик «сеть»; 2 – ручка установки О; 3 – счетчик ударов: а) тысячи-сотни ударов, б)сотни-единицы ударов, в)единицы ударов; 4 – датчик «Время наработки»; 5 – шкала «Частота ударов»; 6 – кнопка «сеть»; 7 – кнопка «стоп»; 8 – ручка регулировки частоты ударов.

4. Отчет по индивидуальной работе и контрольные вопросы.

Отчет по индивидуальной работе должен содержать:

- А) наименование работы и ее цель;
- Б) краткие сведения из теории;
- В) результаты выполнения заданий;
- Г) выводы.

Контрольные вопросы.

1. Что такое механический удар?
2. В каком случае уровни разрушающих усилий возрастают при случайном ударе?
3. Что такое ударный импульс?
4. Приведите характеристики режимов испытаний РЭА на ударную нагрузку.
5. Влияет ли форма ударного импульса на величину разрешения изделия РЭА?

6. По каким видам классифицируются ударные стенды?
7. Приведите схему установки для испытания на воздействие одиночных импульсов.
8. Приведите эксплуатационную зависимость длительность фронта ударного импульса от ударного ускорения при ограничении по скорости.
9. Как определяются предельные эксплуатационные характеристики ударного стенда?
10. Приведите схему стенда для испытаний РЭА на воздействие многократных ударов.
11. Каковы требования к приспособлениям для крепления изделий, испытываемых на удар?
12. Приведите структурную схему аппаратуры для измерения параметров удара.
13. Приведите основные характеристики используемого ударного стенда.
14. Приведите порядок выполнения лабораторного задания.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**

### **ИСПЫТАНИЕ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ**

#### **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА), устанавливаемая на подвижных объектах — автомобилях, самолетах, ракетах и т.д. — в процессе эксплуатации подвергается интенсивным механическим воздействиям — ударам, вибрациям, линейным перегрузкам, акустическим шумам. Надежность такой РЭА может снижаться в десятки и сотни раз по сравнению с аналогичной аппаратурой, используемой в стационарных условиях. Для многих видов РЭА, например самолетной и ракетной, наиболее опасны вибрационные воздействия, особенно если они приводят к возникновению резонансных

колебаний таких широко распространенных элементов конструкций РЭА, как электромонтажные платы. Виброперегрузки, действующие на электрорадиоэлементы (ЭРЭ), увеличиваются при этом в десятки раз, что вызывает значительное возрастание интенсивности отказов как за счет механических разрушений элементов конструкций, так и за счет искажения параметров электрических сигналов. Поэтому устранение резонансных колебаний плат или их снижение до допустимого уровня составляют одну из важнейших задач конструктора самолетной или ракетной РЭА. Решение таких задач требует от него определенных познаний в области теории колебаний и других областях.

## 2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

### 2.1 Общая характеристика вибраций

Под вибрацией радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) обычно понимают механические колебательные процессы в ее конструкции. Существует сравнительно много причин возникновения вибраций. Все их можно разделить на две группы — внутренние и внешние. К внешним относятся, например, неравномерное вращение вала двигателя, деталей трансмиссии или ходовой части, неровности дороги, работа двигателя ракеты, пульсирующие порывы ветра, акустический шум, атмосферная турбулентность, к внутренним — несбалансированность роторов двигателей вентиляторов и др.

Виды вибраций. Реальные вибрации часто являются случайными, имеют сложный вид, и их характеристики с трудом поддаются точному описанию. Для практических целей обычно используются некоторые классические формы — гармоническая, квазигармоническая, широкополосная и узкополосная случайные вибрации, показанные на рисунке 3.1.

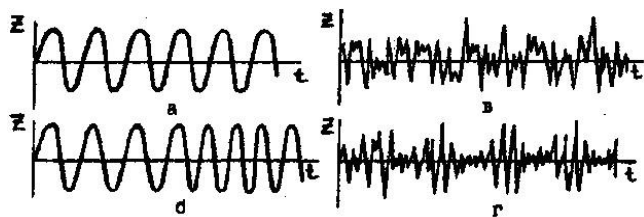


Рисунок 3.1 - Эпюры вибраций: а - гармоническая; б - квазигармоническая; в - случайная широкополосная; г - случайная узкополосная

Гармоническая вибрация сравнительно редко встречается в реальных условиях, например как результат несбалансированности ротора двигателя, но широко используется при лабораторных испытаниях и при анализе. Важно также, что она находит широкое применение для определения динамических характеристик конструкций, которые затем используются при определении реакции системы на более сложные формы вибрации.

Перемещение  $Z(t)$  при гармонической синусоидальной вибрации может быть описано выражением:

$$z(t) = Z_0 \sin \omega \cdot t, \quad (3.1.1)$$

где  $Z_0$  — амплитуда перемещения,  $\omega$  — круговая частота колебаний;  $t$  — время.

Выражения для скорости  $\dot{z}(t)$  и ускорения  $\ddot{z}(t)$  находятся дифференцированием по времени выражения (1.1);

$$\dot{z}(t) = \frac{dz}{dt} = \omega \cdot Z_0 \cos \omega \cdot t = \dot{Z}_0 \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right), \quad (3.1.2)$$

где  $\dot{Z}_0 = \omega \cdot Z_0$  амплитуда скорости колебаний;

$$\ddot{z}(t) = \frac{d^2z}{dt^2} = -\omega^2 Z_0 \sin \omega \cdot t = -\omega^2 z(t) = \ddot{Z}_0 \sin(\omega \cdot t + \pi), \quad (3.1.3)$$

где  $\ddot{Z}_0 = \omega^2 \cdot Z_0$  - амплитуда ускорения колебаний.

Сравнивая выражения (3.1.1 — 3.1.3), можно заключить, что при синусоидальных колебаниях ускорение опережает по фазе перемещение на угол  $\pi$ , а скорости —  $\pi/2$ . Для описания гармонической вибрации часто используется комплексная форма в виде

$$z(t) = Z_0 e^{i\omega t}, \quad (3.1.4)$$

так как выражение  $e^{i\omega t} = \cos \omega \cdot t + i \sin \omega \cdot t$ , также описывает гармонические колебания с циклической частотой  $\omega$ .

Таким образом, основными характеристиками гармонической вибрации являются амплитуда колебаний (амплитуда перемещения, скорости или ускорения) и частота. Их значения, прежде всего, определяются типом объекта, на котором устанавливается РЭА. Например, к ракетной РЭА часто предъявляется требование нормального функционирования при испытаниях на вибростенде в диапазоне 10-2000 Гц с амплитудой виброускорения до 20-40 g, где g — ускорение силы тяжести.

Квазигармоническая вибрация, имеющая непрерывное изменение частоты, более сложна при аналитическом изучении. Обычно она возникает в период разгона и торможения механизмов с вращающимися элементами. В настоящем пособии задачи с использованием такого типа вибраций рассматриваться не будут.

Широкополосная случайная вибрация представляет довольно точную идеализацию вибрации объектов, например летательных аппаратов, и часто описывается как нормальный стационарный случайный процесс. Случайный процесс нормальный, если его плотность распределения  $f(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$  имеет вид нормального закона и стационарный - если закон распределения не изменяется во времени.

Случайный процесс характеризуется математическим ожиданием

$$m_z(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t z(\tau) d\tau$$

и автокорреляционной функцией

$$K(\Delta\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t z(\tau) z(\tau + \Delta\tau) d\tau,$$

которая при  $\Delta\tau=0$  становится равной дисперсии

$$D_z(t) = K(0) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t z^2(\tau) d\tau,$$

определяющей мощностью случайного процесса.

Одной из важнейших характеристик случайного процесса является спектральная плотность дисперсии  $S_z(f)$  (рисунок 3.2), которая связана с дисперсией случайного процесса соотношением

$$D_z = \int_0^{\infty} S_z(f) df. \quad (3.1.5)$$

Учитывая выражение (3.1.5) легко получить формулу для среднеквадратичного значения процесса

$$\sqrt{Z^2} = \sqrt{D_z} = \sqrt{\int_0^{\infty} S_z(f) df}. \quad (3.1.6)$$

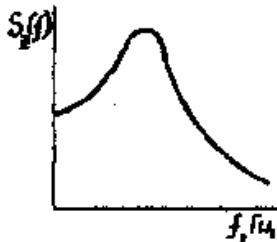


Рисунок 3.2 – Спектральная плотность случайного процесса

В техническом задании на разработку РЭА может быть указано требование обеспечения нормального функционирования при действии случайной вибрации в заданном диапазоне частот с некоторой величиной спектральной плотности ускорения. Диапазон частот может достигать 2-5 кГц, а наиболее типичные значения спектральной плотности лежат в пределах  $0,01 - 1 \text{ g}^2 / \text{Гц}$ .

Узкополосная случайная вибрация обычно возникает как реакция упругих слабодемпфированных систем на широкополосную случайную -вибрацию. На практике часто необходимо определить не только среднеквадратическое значение реакции в соответствии с формулой (1.6), но и ее пиковые значения. Эту задачу можно решить только вероятностно. Для нормального случайного процесса пиковые значения распределены по закону Рэлея:

$$P(Z_n) = e^{-\frac{z_n^2}{2Z^2}}. \quad (3.1.7)$$

Если известны среднеквадратические значения, то легко можно найти, какая часть пиков превысит заданный уровень.

## 2.2 Причины отказов РЭА при действии вибраций

Вибрации РЭА вызывают отказы РЭА как из-за механических разрушений элементов конструкций так и вследствие изменений параметров электрорадиоэлементов и узлов, приводящих к искажениям характеристик сигналов. Можно выделить четыре причины отказов РЭЛ, каждая из которых способна вызывать отказы того и другого характера.

Первая причина заключается в том, что амплитуда перемещения при вибрациях некоторого элемента или группы элементов по крайней мере один раз превысит допустимую величину. В качестве типичных примеров можно привести чрезмерно большое перемещение баллона электронной лампы,

вызывающее ее разрушение при соударении с соседними деталями, замыкание контактов реле, короткое замыкание неизолированного провода и т.д.

Вторая причина отказов состоит в том, что амплитуда перемещения превосходит допустимую величину в течение относительно большого промежутка времени. Отказы, возникающие по этой причине, как правило, связаны с искажениями параметров сигналов, которые часто называют виброшумами. Так, например, виброшумы электронных ламп появляются вследствие колебаний катодов прямого накала и витков сеток; дребезжания катода, рамок или траверс сеток в слюдяных изоляторах при наличии люфтов; колебаний электродов, вызванных резонансными колебаниями вспомогательных деталей и узлов; всплесков затухающих колебаний из-за внутриламповых ударов. В объемных резонаторах колебания элементов приводят к циклическим изменениям индуктивно-емкостных связей и, как следствие, к паразитной модуляции сигнала. Частота генератора будет изменяться в соответствии с формулой

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right). \quad (3.1.8)$$

Относительные перемещения электрорадиоэлементов и проводников вызывают изменения паразитных связей в электрических цепях. Колебания волноводов приводят к увеличению скорости затухания электромагнитного поля, а колебания вибратора в прямоугольном волноводе - к появлению паразитной амплитудно-фазовой модуляции.

Третья причина отказов заключается в том, что напряжение в некотором элементе хотя бы один раз превзойдет допустимую величину к этот элемент либо разрушится, либо в нем возникнут остаточные деформации. В качестве примера можно назвать расслоение многослойных печатных плат, необратимые изменения параметров полупроводниковых приборов и др.



И, наконец, четвертая причина отказов состоит в том, что механические напряжения, недостаточные для разрушения или необратимого изменения параметров за один цикл колебаний, вызывают явления, приводящие к отказам, при длительном действии напряжения. Типичный пример — усталостные разрушения вешних выводов и траверс полупроводниковых приборов, микросхем, резисторов и других элементов. Переменные механические напряжения вызывают также изменения электрического сопротивления полупроводниковых материалов и магнитной проницаемости ферритов, что часто служит причиной недопустимого искажения электрических сигналов в радио технических устройствах.

Как видим, вибрации являются причиной большого количества неисправностей, что приводит к значительному увеличению интенсивности отказов РЭА.

### 2.3 Резонансные колебания элементов конструкций РЭА и способы их устранения

Дестабилизирующее действие вибраций значительно возрастает при возникновении резонансных колебаний элементов конструкций, т.е. когда частота собственных колебаний конструкции и частота возбуждения примерно совпадают. Амплитуды перемещения, скорости и ускорения при этом значительно увеличиваются и могут превышать в десятки раз амплитуды возмущающего колебания. Особенно опасны резонансные колебания электроmontажных плат, так как амплитуды колебаний могут значительно превзойти уровень, допустимый для ЭРЭ. В качестве примера на рисунке 3.3 (кривая I) показана зависимость коэффициента усиления колебаний в центре круглой платы ракетного радиовзрывателя по отношению к закрепленным краям. Видно, что на частоте около 150 Гц амплитуда колебаний возрастает в 40 раз по отношению к амплитуде возмущающих колебаний. При

амплитуде ускорения возмущающих колебаний всего в 10g на некоторые электрорадиоэлементы будут действовать перегрузки в 400 единиц, что приведет к быстрому их отказу.



Рисунок 3.3 — Виброзащита электронных элементов  
 а — носовая часть ракеты; 1 — корпус ракеты; 2 — электронные элементы;  
 3 — плата; б — частотная характеристика платы; 1 — однородная плата; 2 — плата с антирезонансными слоями

Существует несколько способов устранения резонансных колебаний плат РЭА. Широко распространен способ, заключающийся в смещении спектра собственных частот колебаний конструкции за верхнюю границу диапазона частот возмущающих вибраций (рисунок 3.4). Для полного устранения резонансных колебаний необходимо, чтобы первая собственная частота колебаний  $F_{01}$  была не менее чем на октаву выше максимальной частоты возмущающих колебаний  $F_в$ , т.е. необходимо выполнение условия  $F_{01}/F_в \geq 2$ .

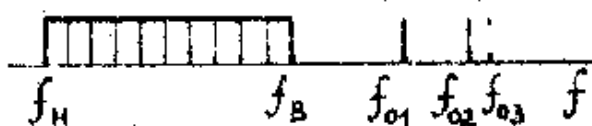


Рисунок 3.4 – рекомендуемое соотношение спектров возмущающих и собственных колебаний

Практически этого стремятся достичь изменением способов крепления, постановкой дополнительных опор и

ребер жесткости, увеличением толщины и уменьшением площади конструкции, т.е. в основном повышением жесткости. Если требуется значительно сместить спектр собственных частот в высокочастотную область, то это приводит к необходимости большого увеличения массы и габаритов, что делает этот способ малопригодным, например для бортовой ракетной радиоаппаратуры, спектр частот вибрационных воздействий у которой достигает нескольких килогерц, а требования к массе и габаритам - жесткие. Поэтому узлы и блоки такой аппаратуры часто полностью заливаются легкими и жесткими пеноматериалами, что в определенной степени позволяет получить желаемый результат, но при этом значительно ухудшается тепловой режим и ремонтпригодность изделий. Способ, основанный на повышении жесткости, целесообразно применять, когда диапазон частот действующих вибраций не превышает 400-500 Гц или когда достаточно снизить резонансные колебания на некоторую, иногда не очень большую, величину. Это характерно для РЭА, у которой преобладают отказы усталостного характера.

Как видно из выражения

$$A = \frac{250n}{f^2}, \quad (3.1.9)$$

где  $A$  - амплитуда колебаний, мм;  $f$  - частота, Гц, небольшое повышение собственной частоты колебаний может существенно уменьшить амплитуду колебаний.

Одним из путей решения проблемы снижения резонансных колебаний является улучшение демпфирующих свойств конструкций, т.е. повышение рассеяния энергии колебаний за счет сил трения. Этого можно достичь включением в конструкции плат специальных антирезонансных покрытий из так называемых вибропоглощающих (ВП) материалов, внутреннее трение которых в десятки и сотни раз больше, чем у конструкционных

материалов, например стеклотекстолита. Большое преимущество этого способа в том, что резонансные колебания могут быть снижены в широком диапазоне частот при незначительном увеличении массы и габаритов конструкций. Эффективность этого способа показана на рис. 3.3. Применение платы, состоящей из трех слоев стеклопластика с зажатыми между ними тонкими слоями из НИ материала, снизило резонансные колебания в восемь раз.

#### 2.4 Особенности физико-механических свойств полимеров

Эффективный способ уменьшения резонансных колебаний - включение в конструкции слоев из специальных вибропоглощающих (ВП) материалов, внутреннее трение которых в десятки и сотни раз может быть больше, чем у конструкционных материалов. В качестве ВП материалов могут применяться различные материалы с большим внутренним рассеиванием энергии механических колебаний, но наиболее перспективными с учетом всех факторов (технологических, эксплуатационных и др.) являются полимеры. Особенность полимеров резко выделяющая их из среды других материалов, - способность в зависимости от скорости приложения силы вести себя как жидкость или как твердое упругое тело, или же одновременно проявлять свойства того и другого.

Эта особенность определяется структурой полимеров, состоящих из длинных цепных молекул участки которых, так называемые звенья, находятся в хаотическом тепловом движении. Прило Приложение внешней силы приводит к некоторой ориентации звеньев в направлении внешней силы. Величина этой ориентации и, следовательно, деформация полимера зависят не только от величины силы, но и от её скорости. Ориентация звеньев связана с преодолением сил межмолекулярного взаимодействия, которые тем слабее, чем

энергичнее тепловое движение, т.е. чем выше температура. Эти обстоятельства обуславливают резкую зависимость механических свойств полимеров от скорости (частоты) деформирования и температуры. На рисунке 3.5 приведены типичные зависимости динамического модуля упругости и коэффициента механических потерь полимеров от температуры и частоты колебаний. Можно выделить три зоны (кривые I) - высокоэластического, стеклообразного (или кристаллического) состояния и переходную зону. Каждый аморфный полимер, в зависимости от температуры и частоты колебаний, может находиться в одном из этих состояний (или вязкотекучем). Например, жесткие пластмассы при нормальных условиях - это полимеры в области стеклообразного или кристаллического состояния, а резины и другие каучукоподобные материалы-полимеры в области высокоэластического состояния. В качестве ВП материалов для антирезонансных слоев могут выбираться не любые полимеры, а только те, физико-механическое состояние которых соответствует переходной зоне, так как при этом полимер имеет максимальные демпфирующие свойства.

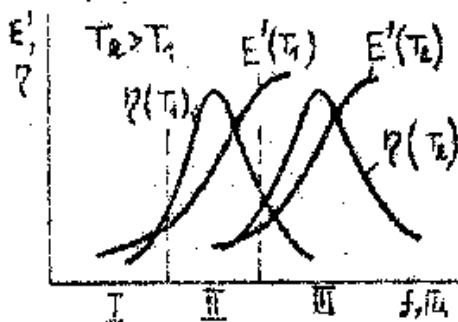


Рисунок 3.5 - Зависимость демпфирующих и упругих свойств полимеров от температуры и частоты  
 1 – Высокоэластическое состояние;  
 2 – Переходная зона;  
 3 – Стеклообразное состояние

Видно также, что и упругие и демпфирующие свойства полимеров в этой зоне резко изменяются в пределах  $(10^5 - 10^9) \frac{H}{m^2}$ , а коэффициент механических потерь – от 0,01 до  $1 \div 2$ . При использовании полимеров в качестве ВП материалов необходимо также учитывать смещение переходной зоны по оси температур при изменении частоты колебаний (Рисунок 3.5, кривые 1 и 2).

### Схемы конструкций с антирезонансными слоями

Конструкции с антирезонансными слоями можно разделить на две группы: конструкции с внешним ВП слоем и конструкции с внутренним ВП слоем рисунок 3.6.

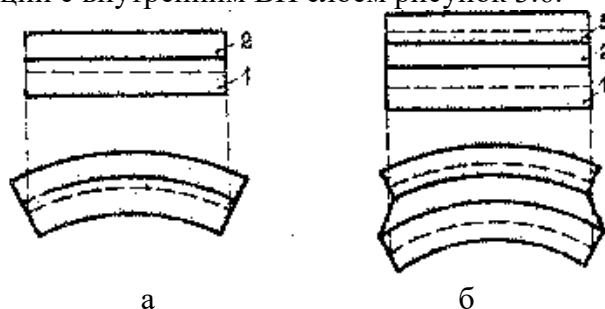


Рисунок 3.6 – Схемы вибропоглощающих конструкций  
1,3 – несущие слои;  
2 – вибропоглощающий слой

Принципиальное их отличие – в типе деформации ВП слоя. В конструкциях с внешним ВП слоем основным типом деформации является растяжение – сжатие ВП слоя, а в конструкциях с внутренним ВП слоем сдвиг. Это обусловлено тем, что модуль упругости ВП материала на несколько порядков меньше модуля упругости материалов несущих слоев и происходит как бы проскальзывание между несущими слоями.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования конструкций того и другого типа показали, что при правильном выборе ВП материала применение слоев всего в несколько десятых долей миллиметра в конструкциях с внутренним ВП слоем позволяет уменьшить резонансные колебания в несколько раз. В конструкциях с внешним ВП слоем такого эффекта удается добиться, когда толщина ВП слоя в 5 - 10 раз превышает толщину несущего слоя. Однако отсюда не следует делать вывод о неперспективности такого типа конструкций. Применение в качестве ВП материала легких пеноматериалов, наносимых на плату заливкой со стороны электрорадиоэлементов, позволяет добиться необходимого эффекта без существенного увеличения массы и габаритов. Преимуществом этих конструкций является их большая технологичность.

## 2.2 Модели вибропоглощающих материалов конструкций

Классическая теория упругости имеет дело с механическими свойствами идеально упругих тел, для которых в соответствии с законом Гука

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (3.2.1)$$

где  $E$  - модуль упругости материала, напряжение пропорционально деформации  $\sigma$  и не зависит от скорости.

Классическая гидродинамика описывает течение жидкостей, поведение которых при деформации определяется законом Ньютона

$$\sigma_\tau = b \frac{d\gamma}{dt}, \quad (3.2.2)$$

где  $b$  - коэффициент динамической вязкости, предполагающий пропорциональность между напряжением сдвига  $\sigma_\tau$  и скоростью деформации  $\frac{d\gamma}{dt}$ .

В действительности не существует идеально упругих твердых тел и идеально вязких жидкостей, поведение которых абсолютно точно описывается указанными законами. Все реальные материалы в той или иной мере обладают как упругими, так и вязкими свойствами. Для упрощения решения практических задач часто прибегают к некоторой идеализации, т.е. если существенно преобладают упругие свойства, то тело считают "чисто" упругим, если вязкие - то "чисто" вязким. Материалы, у которых упругие и вязкие свойства соизмеримы получило название вязкоупругих. Свойства вязкоупругости наиболее ярко выражены у полимеров в переходной зоне, где коэффициент механических потерь  $\eta$  имеет наибольшую величину (рисунок 3.5).

Для описания вязкоупругих материалов применяется ряд моделей, из которых простейшие модели Максвелла и Фохта показаны на рисунке 3.7. Связь между напряжением и деформацией для этих моделей представляется в виде

$$\frac{d\sigma}{dt} = E_1 \frac{d\varepsilon}{dt} - \frac{\sigma E}{b}; \quad (3.2.3)$$

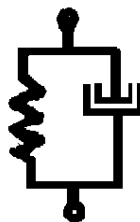
- для модели Максвелла

$$\sigma = E_1 + b \frac{d\varepsilon}{dt}; \quad (3.2.4)$$

- для модели Фохта



а



б

Рисунок 3.7 - Модели вязкоупругих тел  
а – модель Максвелла; б - модель Фохта



Если напряжение изменяется по гармоническому закону, то у вязкоупругих тел наблюдается сдвиг фаз между напряжением и деформацией (рисунок 3.8).

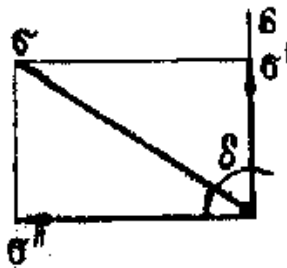


Рисунок 3.8 – Векторная диаграмма

На рисунке 3.8 видно, что напряжение можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$\sigma = \sigma^{\parallel} + i\sigma^{\perp}. \quad (3.2.5)$$

Составляющая напряжения  $\sigma^{\parallel}$  совпадает по направлению с деформацией и как известно из теории колебаний, связана с упругой энергией тела, вторая составляющая  $\sigma^{\perp}$ , опережающая деформацию на  $90^\circ$ , связана с энергией, теряемой системой (энергией потерь). Пусть деформация описывается выражением

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 e^{j\omega \cdot t}, \quad (3.2.6)$$

тогда для модели Фоха (3.2.4) получим

$$\sigma = E_1 \mathcal{E} + ib\omega \mathcal{E}, \quad (3.2.7)$$

и соответственно

$$\sigma^{\parallel} = E_1 \mathcal{E}; \quad \sigma^{\perp} = b\omega \mathcal{E}. \quad (3.2.8)$$

Величины

$$E^{\parallel} = E_1; \quad E^{\perp} = b\omega, \quad (3.2.9)$$

получили название динамического модуля упругости  $E^{\parallel}$  и модуля потерь  $E^{\perp}$ . Из диаграммы и формул (3.2.7-3.2.9) получим

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{b \omega}{E^{\perp}} = \frac{E^{\parallel}}{E^{\perp}}. \quad (3.2.10)$$

Это выражение по форме совпадает с выражением для коэффициента потерь (формула 3.2.11) при  $\omega = \omega_0$ .

$$\eta = \frac{b \omega_0}{k}, \quad (3.2.11)$$

где  $\omega_0$  - собственная частота контура  
 $k$  – коэффициент жесткости.

Для модели Максвелла можно получить

$$E^{\perp} = \frac{E_1 \omega^2 b^2}{E_1^2 + b^2 \omega^2}; \quad E^{\parallel} = \frac{E_1^2 \omega b}{E_1^2 + b^2 \omega^2}; \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{E_1}{b \omega};$$

В общем случае ни одна из указанных моделей не описывает достаточно точно поведение вязкоупругих материалов. Поэтому часто используют модель стандартного линейного тела, имевшего две разновидности, показанные на рисунке 3.9, но и они не описывают частотно-температурную зависимость свойств вязкоупругих тел. Наиболее точны модели, состоящие из набора, вязкоупругих пружин с различными константами вязкости и упругости. Использование кроме этого принципа суперпозиции Больцмана. Предполагающего, что действие каждой деформации не зависит от других, позволяет отразить и частотно-температурную зависимость вязкоупругих тел при различных видах нагружения. Анализ колебаний такого «больцмановского тела» приводит к сложной математической задаче, включающей решение интегро-дифференциального уравнения с частными производными.

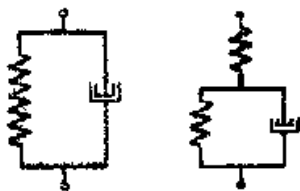


Рисунок 3.9 – Модели стандартного линейного тела

Использование модели Фохта в сочетании с частотно-температурными зависимостями параметров  $E^1$  и  $\eta$  эквивалентно описанию конкретного вязкоупругого материала при помощи более сложной модели. Именно такой подход нашел в настоящее время широкое распространение на практике.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ ПЛАТ РЭА С АНТИРЕЗОНАНСНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

3.1 Свойства вибропоглощающих материалов и способы их модификации

В качестве ВП материалов необходимо использовать полимеры, физико-механическое состояние, которое соответствует области перехода от высокоэластического к стеклообразному состоянию. Динамический модуль упругости и коэффициент механических потерь полимера в переходной зоне могут изменяться на несколько порядков (см. рисунок 2.1). Кроме того, положение переходной и ее ширина на оси температур для полимеров различны и зависят от частоты колебаний.

С другой стороны, большинство типов РЭА, устанавливаемой на подвижных объектах, используются в диапазоне температур, который часто достаточно широкий, и воздействующая вибрация может иметь диапазон до нескольких килогерц. На рисунке 3.10 показан температуры

диапазон эксплуатации некоторой РЭА ( $t_{min}$ ,  $t_{max}$ ) и свойства трех материалов в переходной зоне при минимальной и максимальной частотах

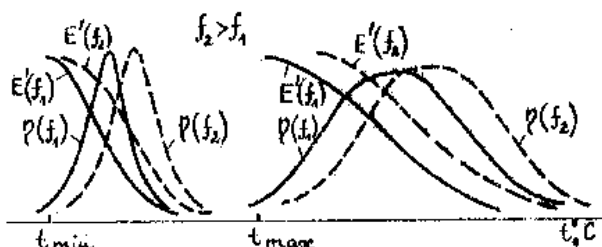


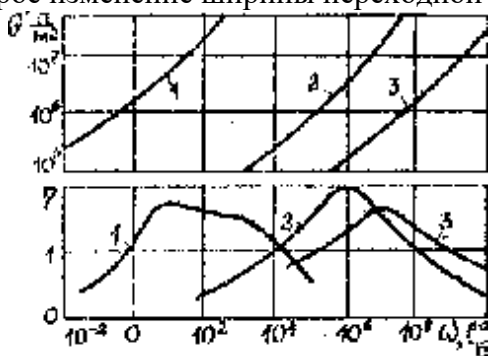
Рисунок 3.10 - Положение переходной зон для двух полимеров

Видно, что максимум коэффициента механических потерь у первого материала совпадает с температурным диапазоном эксплуатации, но быстро уменьшается, и на краях температурного диапазона такой материал уже не будет вибропоглощающим. Второй материал имеет значительно более широкую переходную зону, но она не совпадает с температурным диапазоном эксплуатации. Отсюда следует важный вывод: в качестве вибропоглощающих материалов могут использоваться полимеры, физико-механическое состояние которых в температурном диапазоне эксплуатации РЭА соответствует области перехода от высокоэластического к стеклообразному состоянию, и эта область имеет достаточную ширину. Следовательно, для правильного выбора ВП материала радиоконструктор должен располагать зависимостями динамического модуля упругости и коэффициента механических потерь  $\eta$  от температуры, и частоты. В настоящее время ведутся специальные работы по разработке ВП материалов.

Рассмотрим факторы, которые влияют на свойства полимеров и могут быть положены в основу создания таких материалов.

## Химическое строение

В качестве примера влияния химического строения на положение и ширину переходной зоны на оси частот на рисунке 3.11 даны зависимости динамического модуля сдвига  $G'$  и коэффициента потерь  $\eta$  от частоты приведенные к  $100^\circ\text{C}$ , для трех полимеров и Н-алкиметакрилатов, эфирные группы которых соответственно содержат 2,4 и 12 атомов углерода. Как видно, с увеличением дайны боковых групп переходная область сдвигается в сторону высоких частот почти на шесть порядков по логарифмической шкале частот. Наблюдается также некоторое изменение ширины переходной зоны.



1-Этил; 2 – Гексил; 3 - Додecilетакрилат

Рисунок 3.11 – Влияние химического строения полимера на переходную зону

## Сополимеризация

В качестве примера на рисунке 3.12 показаны зависимости  $E'$  и  $\eta$  от температуры для сополимера винилхлорида и 2-этил-гексилакрилата при различных их весовых соотношениях. Видно, что при сополимеризации наблюдаются две сложные переходные зоны приводящие к расширению температурного диапазона, в котором наблюдаются значительные величины коэффициента потерь  $\eta$ . Этот способ позволяет также смещать переходную зону в другой температурный диапазон.

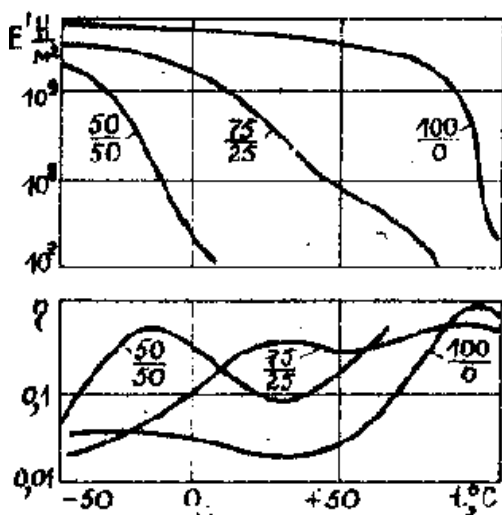


Рисунок 3.12 – Влияние сополимеризации на переходную зону

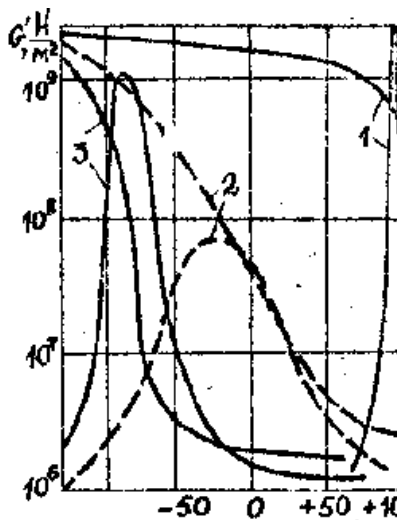
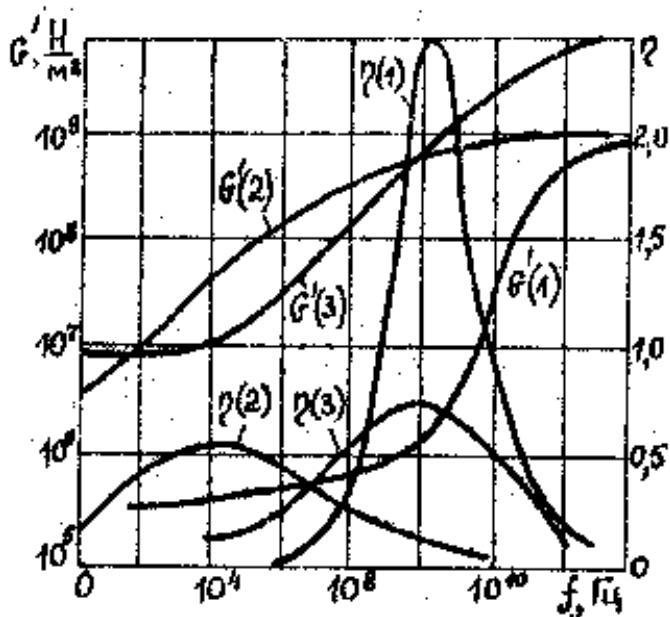


Рисунок 3.13 – Влияние пластификации на переходную зону. Концентрация полимера: 1 – 100%; 2-60,7%; 3-40,8%

### Пластификация

В отличие от сополимеризации пластификация не приводит к образованию химических связей между полимером и растворителем. Введение пластификатора снижает силы когезии между макромолекулами полимера, вследствие чего ослабляется межмолекулярное взаимодействие. Это эквивалентно уменьшению частоты или повышению температуры. В качестве примера влияния пластификации на рисунке 3.13 показаны зависимости  $G'$  и  $\eta$  от температуры, измеряемые при частоте 2 Гц, для поливинилхлорида, пластифицированного диэтилсукцинатом. Как видно, пластификацией можно добиться значительного смещения и расширения переходной зоны.

Наполнение и вулканизация влияние твердых наполнителей и вулканизации показано на рисунке 3.14. Видно, что эти факторы также существенно влияют на механические, динамические свойства полимеров. Исследования физико-механических свойств полимеров показали, что на положение и ширину переходной зоны влияют также степень полимеризации и молекулярный вес. Характеристики некоторых вибропоглощающих полимеров, которые могут быть использованы при конструировании РЭА, приведены в табл. 7—9 приложения.



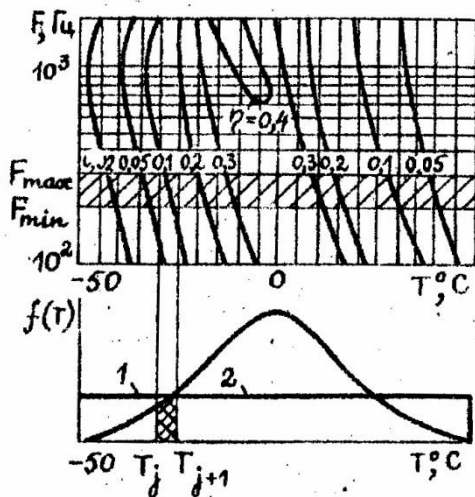
1 – невулканизированная; 2 – вулканизированная; 3 – вулканизированная с наполнением

Рисунок 3.14 – Влияние наполнения и вулканизации на переходную зону

## 2.1 Оценка эффективности, вибропоглощающих конструкций

Из выше сказанного, очевидно, что коэффициент механических потерь конструкции будет значительно изменяться в температурном диапазоне эксплуатации изделия. В качестве примера на рисунке 3.6, показан контурный график зависимости коэффициента трехслойной конструкции от температуры и частоты. В качестве вибропоглощающего материала использован полиизобутилен, характеристики которого приведены в табл. 8. приложения.

Видно, что в интервале температур от  $-50$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  демфирующие свойства изменяются примерно в двадцать раз. Аналогичные зависимости характерны и для других ВП конструкций и мате материалов. Возникает вопрос, какое значение коэффициента потерь принимать в качестве показателя эффективности ВП элементов конструкций радиосистем. Ответ на него будет различным в зависимости от последствий отказа.



а – контурный график; б – плотность распределения;  
1 – равномерный закон; 2 – нормальный закон



Рисунок 3.15 – Контурный график зависимости коэффициента потерь от температуры и частоты, плотность распределения температур

Если отказ системы недопустим, эффективность ВП покрытий целесообразно оценивать по минимально возможной в условиях эксплуатации системы величине коэффициента потерь  $\eta_{min}$ . При этом необходимо, чтобы  $\eta_{min}$  был не меньше значения, при котором резонансные колебания конструкции приводят к отказам и неустойчивости сигналов системы. Невыполнение этого условия будет означать, что разрабатываемая конструкция заведомо не удовлетворяет требованиям технического задания.

Если в основу оценки системы положен общий экономический эффект от применения изделий данного типа, то ВП конструкцию целесообразно оценивать по среднему в условиях эксплуатации системы значению коэффициента потерь  $\eta_{cp}$ . Пусть, например, система работает в условиях, при которых  $\eta < \eta_{cp}$ . Это приведет к увеличению количества отказов по сравнению со средним значением, увеличению стоимости эксплуатации и снижению экономического эффекта, но эта же система или другие системы этого типа могут применяться и в более благоприятных условиях, когда  $\eta > \eta_{cp}$ , что обеспечит повышение экономического эффекта по сравнению со средней величиной. Пригодной следует считать такую конструкцию, у которой средний коэффициент потерь не меньше величины, при которой достигается положительный экономический эффект.

Остановимся на методике определения рекомендуемых показателей эффективности. Величина  $\eta_{min}$  может быть найдена непосредственно из контурного графика или же расчетом двух значений  $\eta$  при минимальной температуре и максимальной частоте, а также максимальной температуре и минимальной частоте и выбором наименьшего значения. При

определении  $\eta_{cp}$  необходимо знать собственные частоты колебаний конструкции, а также вероятностное распределение температур в заданном интервале (рисунок 3.15,б). Каждая из собственных частот колебаний будет изменяться в некотором интервале, что обусловлено температурной зависимостью модуля упругости ВП материала.

Будем считать, что наиболее опасны колебания на первой собственной частоте, которая лежит в интервале от  $f_{min}$ , до  $f_{max}$  (см. рисунок 3.15,а). Разобьем заштрихованную область на несколько подобластей и определим  $\eta_{cp}$ , используя формулу

$$\eta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i p(\eta_i)}{\sum_{i=1}^n P(\eta_i)},$$

где  $\eta_i$  — величина коэффициента потерь в  $i$ -м интервале,  $P(\eta_i)$  — коэффициент веса, равный вероятности того, что  $\eta = \eta_i$ , и определяемый по формуле

$$P(\eta_i) = \int_{T_j}^{T_{j+1}} f(T) dT$$

или как площадь фигуры под кривой распределения на рассматри рассматриваемом интервале. Здесь  $T_j$  и  $T_{j+1}$  - температуры в начале и в конце температурного интервала. Величину  $\eta_i$  можно приближенно определять из контурного графика или рассчитывать для средней частоты и средней температуры каждого интервала.

Как видно, изрис 3.15,а. Собственная частота значительно меньше влияет на величину коэффициента потерь, чем температура. Поэтому если отказы могут вызываться не только первым, но и последующими резонансами, в качестве,  $f_{min}$  целесообразно принимать минимально возможное значение первой собственной частоты

колебаний, а  $f_{max}$  — верхнюю границу диапазона собственных частот.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИСПЫТАНИЕ РЭА НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ**

### **I ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Проектирование и создание современных РЭС практически невозможно без предварительной оценки ее на безотказность. Для оценки безотказности осуществляют электропрогон видеотелевизионной техники по ГОСТ 9021-78 с проверкой чувствительности канала изображения и звукового сопровождения, нелинейных накоплений, разрешающую способность по вертикали и горизонтали, нестабильность размеров изображения от изменения напряжения питания.

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен выполнить следующие виды деятельности:

1. Изучить функциональную нагрузку радиоаппаратуры во время электропрогона;
2. Провести планирование, обработку и анализ результатов испытаний аппаратуры по оценке средней наработки;
3. Провести планирование, обработку и анализ результатов испытаний по оценке коэффициента прочности;
4. Провести испытание аппаратуры на ремонтпригодность.

### **2 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

#### **2.1 Задание первое**

Изучить особенности испытания РЭА на безотказность при электропрогоне.

Для выполнения домашнего задания следует ознакомиться с материалом /1, с.8 – 51,2/.

Испытания изделий опытной партии (образцов), установочных серий и серийного производства проводят для оценки соответствия показателей безотказности аппаратуры (средней наработки на отказ  $T_o$  или коэффициента прочности  $K_n$ ) требованиям  $T_z$  или ТУ.

Оценку коэффициента прочности при испытаниях на безотказность проводят до электропрогона аппаратуры по результатам испытаний изделий на прочность при транспортировании (виброустойчивость, прочность при падении).

Оценку средней наработки на отказ проводят по результатам электропрогона.

Планирование испытаний аппаратуры на безотказность и оценку результатов испытаний проводят в соответствии с установленными в ТЗ или ТУ:

- значением средней наработки на отказ изделия  $T_o$ ;
- значением коэффициента прочности изделия  $K_n$ .

При проведении испытаний аппаратуры по оценке средней наработки на отказ принимают риск изготовителя  $\alpha$  равным риску потребителя  $\beta$  и устанавливают их значения равными 10 % (0,1).

Допускается по согласованию с Госприемкой для изделий опытных партий (образцов) и установочных серий принимать значения  $\alpha$  и  $\beta$ , равными 20 % (0,2).

При проведении испытаний аппаратуры по оценке коэффициента прочности  $K_n$  принимают доверительную вероятность  $P$  оценки этого показателя равной 0,9.

Допускается по согласованию с Госприемкой для изделий опытных партий (образцов) и установочных серий применять значение  $P$  равное 0,8.

Испытания на безотказность аппаратуры по оценке средней наработки на отказ проводят по статистическому плану «усеченных последовательных испытаний».

Испытания на безотказность аппаратуры по оценке коэффициента прочности  $K_n$  проводят по методу определения среднего арифметического значения  $K_n$  и его нижней  $K_{nn}$  доверительной границы при доверительной вероятности  $P$ , равной 0,9.

Объемы выборок изделий при испытаниях на безотказность устанавливают в соответствии с принятым планом испытаний.

Электропрогон аппаратуры при испытаниях на безотказность проводят путем повторения циклов испытаний определенной длительности в соответствии с циклограммами, установленными в ТУ или ТЗ на аппаратуру, и периодическим контролем результатов испытаний.

Испытательный цикл определяет последовательность и комбинацию режима работы аппаратуры при воздействии механических и климатических внешних факторов (ВВФ). Испытания при электропрогоне рекомендуется проводить при одновременном воздействии ВВФ.

В соответствии с результатами исследований с целью ограничения влияния длительности электропрогона на риски потребителя и изготовителя продолжительность испытаний изделий во время электропрогона (наработка  $t_n$  каждого изделия) выбирают в интервале  $[t_{n \text{ мин}}, t_{n \text{ макс}}]$ , установленном в ТУ или ТЗ.

Значение  $t_{n \text{ макс}}$  не должно превышать  $0,2T_o$ .

Значения  $t_{n \text{ мин}}$  составляют:

500 ч — для магнитофонов, диктофонов и видеомагнитофонов (магнитофоны);

750 ч — для радиоприемной, звуковоспроизводящей, звукоусилительной и акустической аппаратуры (радиоаппаратура);

750 ч — для телевизионных приемников (телевизоры).

При проведении испытаний на безотказность по оценке  $T_o$  суммируются учитываемые значения наработки всех изделий и число учитываемых отказов.

Суммарные значения учитываемых длительности испытаний и числа отказов сравнивают с условиями приемки и забракования изделий.

Время наработки аппаратуры в пределах цикла испытаний, в котором обнаружен отказ, исключают из общего времени наработки.

Результаты испытаний аппаратуры на безотказность считают положительными при одновременном выполнении условий приемки по показателям  $K_n$  и  $T_o$ .

Испытания аппаратуры на безотказность проводят в последовательности:

- 1) испытания на прочность при транспортировании, на виброустойчивость (для III и IV групп аппаратуры) и прочность при падении (для III группы аппаратуры);
- 2) внешний осмотр, проверка работы органов управления, измерение параметров аппаратуры;
- 3) оценка коэффициента прочности;
- 4) электропрогон (с измерением параметров аппаратуры);
- 5) оценка средней наработки на отказ и оформление результатов испытаний.

Испытание аппаратуры на прочность при транспортировании, виброустойчивость и прочность при падении проводят в режимах, указанных в табл. 1.

После каждого 7 ч электропрогона аппаратуру выключают не менее чем на 1 ч.

Для изделий, время непрерывной работы которых менее чем 7 ч, цикл испытаний устанавливают равным

предельному времени непрерывной работы, установленному и ТЗ (ТУ).

Электропрогон аппаратуры необходимо проводить при включенном звуке, регулятор громкости при этом должен находиться в среднем положении.

*Рабочая функциональная нагрузка телевизоров во время электропрогона*

Электропрогон телевизоров черно-белого изображения следует проводить при изображении подвижного и неподвижного сюжетов с яркостью и контрастностью, необходимыми для определения исправного состояния телевизора.

Один и тот же сюжет неподвижного изображения допускается подавать на экран телевизора суммарно, не более 6 ч в сутки.

Ручками управления, предназначенными для потребителей, должно быть установлено устойчивое изображение.

Электропрогон телевизоров с двумя режимами подстройки частоты гетеродина (ручной и автоматической) следует проводить в режиме автоматической подстройки гетеродина.

Электропрогон телевизоров необходимо проводить при обязательно включенном звуке, регулятор громкости должен находиться при этом в среднем положении.

Электропрогон телевизоров цветного изображения следует просадить при подаче на вход телевизоров испытательного сигнала цветного изображения.

В течение 7-часового цикла электропрогона на телевизоры необходимо подавать следующие напряжения питания в указанной последовательности:

- 1) номинальное — в течение первых 3 ч 20 мин работы;

2) минимально допустимое по ТЗ (ТУ) — в течение 1 ч 10 мин;

3) максимально допустимое по ТЗ (ТУ) — в течение 2 ч.

После 3 ч 20 мин и 4 ч -15 мин электропрогона телевизоры выключают на 15 мин. После каждых 7 ч электропрогона телевизоры выключают не менее чем на 1 ч.

Допускается изменение длительности электропрогона в пределах  $\pm 10$  мин при различных напряжениях питания телевизоров при сохранении суммарной длительности, цикла электропрогона равной 7 ч.

Во время электропрогона необходимо проверять визуальное качество изображения на экране телевизора, устойчивость синхронизации и на слух качество звучания, а также работу органов управления.

В процессе электропрогона перед каждым включением телевизора необходимо переключать его на прием других телевизионных каналов. В телевизорах с двумя режимами подстройки, частоты гетеродина исправное состояние телевизоров необходимо проверять как при автоматической, так и при ручной подстройке частоты гетеродина. Качество звучания следует проверять на слух при различных (в том числе и максимальном) уровнях громкости (по ТУ).

Периодичность дополнительной проверки телевизоров, обеспечивающих повышенные технические требования, не предусмотренные ГОСТ 18198-85, следует указывать в ТЗ (ТУ) на телевизор конкретной модели.

В телевизорах цветного изображения в процессе электропрогона необходимо проверять автоматическое выключение канала цветности. Проверку следует проводить по методу, приведенному в ТУ на телевизоры.

По окончании электропрогона во всех испытываемых телевизорах проверяют по ГОСТ 9021—78 или нормативной документации следующие параметры:



1) чувствительность канала изображения, ограниченную синхронизацией, на одном канале в диапазоне метровых волн и одном канале в диапазоне дециметровых волн (в телевизорах с селекторами каналов (СК) дециметровых волн и всеволновыми СК);

2) чувствительность канала звукового сопровождения, ограниченную шумами, на одном канале в диапазоне метровых волн и одном канале в диапазоне дециметровых волн (в телевизорах с СК дециметровых волн и всеволновыми СК);

3) нелинейные искажения раstra по вертикали и горизонтали;

4) нестабильность размеров изображения от изменения напряжения питания;

5) разрешающую способность по вертикали и горизонтали.

Для телевизоров цветного изображения, кроме указанных, проверяют по ГОСТ 24331—80 или нормативно-технической документации следующее параметры:

1) неоднородность цветности и свечения по полю экрана на основных цветах и опорном белом;

2) погрешность сведения лучей;

3) отклонение цветности белого цвета свечения экрана от цветности опорного белого при статическом балансе и динамическом балансе;

4) автоматическое выключение канала цветности при приеме передач черно-белого изображения;

5) сохранение устойчивости цветовой синхронизации.

Допускается дополнительно проводить измерения других параметров телевизоров черно-белого и цветного изображения по ГОСТ 18198—85.

В телевизорах опытной партии и установочной серии необходимо проверять параметры дополнительно через 150 ч и

400 ч электропрогона, а также через 750 ч при длительности электропрогона, превышающей 750 ч.

Если во время электропрогона наблюдается ухудшение качества изображения телевизора по сравнению с другими испытываемыми телевизорами, то соответствие телевизора требованиям ТЗ (ТУ) должно быть проверено измерением соответствующих параметров.

Электропрогон отказавшего телевизора продолжают после установления причины отказа, восстановления работоспособного состояния телевизора и проверки электрического и, в случае необходимости, теплового режимов элементов, установленных в телевизоре, в процессе восстановления работоспособного состояния.

Время наработки аппаратуры в пределах цикла испытаний, на котором обнаружен отказ, исключается из общего времени наработки. Цикл испытаний повторяют.

*Рабочая функциональная нагрузка радиоаппаратуры во время электропрогона*

Электропрогон радиоаппаратуры проводится в режиме приема радиовещательной программы.

Электропрогон усилителей звуковой частоты (УЗЧ) проводится в режиме усиления номинального входного сигнала от любого источника.

Электропрогон электрофонов и электропроигрывателей (ЭПУ) проводится в режиме воспроизведения звукозаписи по ГОСТ 18631—83.

Электропрогон комбинированных видов аппаратуры проводится в режимах работы от каждого источника сигнала следующим образом:

1) для радиоприемных устройств, имеющих в составе только тракты АМ и ЧМ: 50 % времени по тракту АМ, 50 % — по тракту ЧМ;

2) для радиоприемных устройств, имеющих в составе ЭПУ и магнитофонную панель (МП): 30 % времени в режиме радиоприема, 35 % — в режиме работы от ЭПУ, 35 % — в режиме работы МП;

3) для радиоприемных устройств, имеющих в составе ЭПУ или МП;

4) 30 % времени — в режиме радиоприема, 70 %— в режиме работы от ЭПУ или МП;

5) для комбинированных электрофонов: 50 % времени в режиме работы от ЭПУ; 50 % - в режиме работы от МП.

Режим работы МП состоит из последовательности записи, воспроизведения и перемотки ленты в течение соответственно 45 %, 45 % и 10 % времени работы МП. Для многоскоростных МП время работы записи и воспроизведения делят равномерно для каждой скорости. Электропрогон аппаратуры, включающей УЗЧ, проводят в режиме работы от источника реальной музыкальной программы.

При этом регуляторы тембра устанавливают в положение, соответствующее плоской АЧХ, регуляторы громкости — в положение, при котором в громкоговорителе рассеивается средняя мощность, равная  $1/8$  номинальной выходной мощности одного канала УЗЧ.

Среднюю выходную мощность определяют на зажимах для подключения громкоговорителей с применением вольтметра средних квадратических значений (СКЗ) напряжения, имеющего постоянную времени усреднения не менее 30 мс, или с применением измерителя мощности.

Допускается заменять громкоговоритель электрическим эквивалентом, имитирующим его комплексное электрическое сопротивление.

При наличии в аппаратуре выхода для подключения различных типов громкоговорителей в качестве нагрузки используют эквивалент, выполненный по схеме рис. 4.1

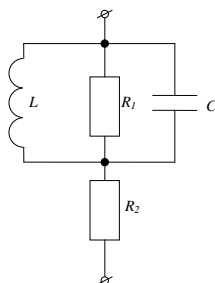


Рис. 4.1. Эквивалент для громкоговорителя с параметрами, приведенными в табл. 4.1.

Эквивалент для нагрузки — Таблица 4.1.

Номинальное сопротивление нагрузки, Ом	R, Ом	R, Ом	L, мГ	C, мкФ
4	11,5	3,4	6,25	1600
8	23	6,8	12,5	800

В начале и в конце каждого 7-часового цикла электропрогона следует проводить не менее 5 раз проверку работоспособности всех органов управления и кинематических узлов.

При наличии автоматизированных стендов: проводят проверку: работоспособности органов управления и кинематических узлов не менее 1000 раз в непрерывном режиме.

В течение каждого 7-часового цикла электропрогона следует проводить проверку работы каждого изделия при различных уровнях громкости.

Если при этом будет замечено ухудшение качества работы аппаратуры (уменьшение усиления, шум или искажение сигнала) по сравнению с другими образцами

аппаратуры, то соответствие этого изделия требованиям технической документации должно быть проверено измерением соответствующих параметров.

Электропрогон отказавшей аппаратуры может быть продолжен после установления причины неисправности или отказа и ремонта изделия.

*Рабочая функциональная нагрузка магнитофоном, диктофонов и видеоманитофонов (магнитофонов)*

Испытания на безотказность магнитофонов проводят по программе 10  $\tau$ -часовых испытательных циклов ( $\tau = 0,1 t_{и}$ ).

Полный цикл испытаний должен предусматривать:

1) наработку при напряжениях питания магнитофонов; максимальном, номинальном и минимальном;

2) наработку в контролируемых, функциональных режимах (воспроизведение — не менее 50 % цикла, запись — не менее 25 % цикла, остальные режимы — не более 25 %);

3) наработку на контролируемых значениях скорости движения магнитной ленты (на обязательной скорости — не менее 75 % времени цикла, на необязательных значениях скорости — не более 25 % времени цикла);

4) контроль работоспособности магнитофонов;

5) проведение работ по техническому обслуживанию.

6) При электропрогоне односкоростных и кассетных магнитофонов в течение цикла испытаний периодически проводят:

7) запись на одну сторону ленты (кассеты);

8) перематку ленты (кассеты) в начало;

9) воспроизведение всей ленты (кассеты);

10) перематку ленты (кассеты) в начало;

11) воспроизведение на одной стороне ленты (кассеты);

12) переворот ленты (кассеты) на другую сторону;

13) манипуляцию настоящего подпункта, перечисленную выше;

14) перемотку до конца ленты (кассеты) и обратно.

Если магнитофон имеет несколько входов, то при каждой последующей записи используется другой вход таким образом, чтобы постепенно были использованы все входы.

При записи устанавливается оптимальный уровень записи в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя (если он не устанавливается автоматически). При каждой записи необходимо использовать кнопку «стоп» (если она имеется).

При воспроизведении регулятор громкости устанавливают на  $1/8$  номинальной выходной мощности (по вольтметру СКЗ напряжения, имеющему постоянную времени усреднения не менее 30 мс, или по измерителю мощности).

Остальные элементы управления (регулятор тембра, стереобаланс и др.) устанавливают в среднее положение.

Пять раз в каждом цикле все внешние элементы управления переставляют в оба крайних положения и проверяют функционирование аппаратуры при всех видах работы.

Для двухскоростных магнитофонов циклически повторяют электропрогон в течение 2-циклов при скорости 9,53 см/с и 1 цикла при другой скорости.

Для трехскоростных магнитофонов циклически повторяют электропрогон в течение:

2 циклов - при скорости 9,5 см/с;

1 цикла - при второй скорости;

1 цикла— при третьей скорости.

2.2 Задание второе. Изучить особенности планирования, обработки и анализа результатов испытаний аппаратуры по оценке средней наработки

Испытания аппаратуры по оценке средней наработки на отказ  $T_o$  проводят по плану усеченных последовательных испытаний.

Исходными данными для проведения испытаний являются:

- 1) риск изготовителя  $\alpha$ , равный 10 % (0,1)
- 2) риск потребителя  $\beta$ , равный 10 % (0,1);
- 3) длительность испытания  $t_n$  изделия (наработка в течение электропрогона);
- 4) установленное в ТЗ или ТУ значение средней наработки на отказ  $T_o$ .

При этом интервал  $[T_{o\beta}, T_{o\alpha}]$ , где  $T_{o\beta}$ ,  $T_{o\alpha}$  - браковочное и приемочное значения показателя  $T_o$ , относительно  $T_o$  располагается симметрично с тем. Чтобы обеспечить равенство ущерба потребителя от приемки ненадежных изделий, и изготовителя — от забракования надежных.

Планирование основано на экспоненциальном законе распределения отказов.

При испытаниях используют один из трех планов испытаний (1.1- 1.3), приведенных в табл. 4.2.

Планы усеченных последовательных испытаний — Таблица 4.2

Номер плана	Характеристики плана				Коэффициент ожидаемого времени принятия решения, к	Истинный риск, %	
	Номин., %		$\frac{T_{o\alpha}}{T_{o\beta}}$	$\gamma$		до	$\alpha'$
	$\alpha$	$\beta$			Кратное, $T_{o\alpha}$		
1.1	10	10	2,0	1/3	5,1	12,8	12,8

1.2	10	10	3,0	1/2	2,0	11,1	10,9
1.3	10	10	5,0	2/3	0,6	12,4	13,0
1.4	20	20	1,5	1/5	7,6	22,7	23,2
1.5	20	20	2,0	1/3	2,4	22,3	22,5
1.6	20	20	3,0	1/2	1,1	18,2	19,2

Примечания:

1) истинные значения риска  $\alpha'$ ,  $\beta'$  отличаются от номинальных значений  $\alpha$ ,  $\beta$  в следствие аппроксимации и усечения в планах испытаний;

2)  $T_{об}$  — браковочное значение средней наработки на отказ;

3)  $T_{о\alpha}$  — приемочное значение средней наработки на отказ.

Допускается по согласованию с Госприемкой для изделий опытных партии (образцов) и установочных серий применять значения  $\alpha$ ,  $\beta$  равными 20 % (планы 1.4-1.6 табл. 4.3 и приложения 5).

Объем выборки  $N$  (число испытываемых изделий) определяют по формуле:

$$N \geq \frac{t_{\Sigma p}}{t_u}, \quad (4.1)$$

где  $t_{\Sigma u}$  — суммарная длительность электропрогона выборки из  $N$  изделий до окончания испытаний (ожидаемое время до принятия решения), определяемая в соответствии с принятым планом испытаний по формуле:

$$t_{\Sigma u} = k \cdot T_{о\alpha}; \quad (4.2)$$

где  $k$  — коэффициент ожидаемого времени принятия решения, определяемый в соответствии с табл. 4.2;

$$T_{о\alpha} = (1 + \gamma) \cdot T_0; \quad (4.3)$$

где  $\gamma$  — коэффициент, определяемый соотношением:



$$\gamma = \frac{\xi - 1}{\xi + 1}, \quad (4.4)$$

где  $\xi$  — коэффициент, определяемый соотношением:

$$\xi = \frac{T_{o\alpha}}{T_{o\beta}}, \quad (4.5)$$

(значения коэффициентов  $\gamma$  и  $\xi$  для конкретных планов испытаний приведены в табл. 4.3).

Точное значение  $N$ , определяемое по формуле (4.1), округляют до ближайшего большего целого числа.

2.3 Задание третье. Особенности планирования, обработки и анализа результатов испытаний аппаратуры коэффициента прочности

Испытания аппаратуры по оценке коэффициента прочности  $K_n$  проводят методом определения среднеарифметического значения с доверительной вероятностью  $P$ .

Исходными данными для проведения испытаний по оценке  $K_n$  являются:

1) доверительная вероятность  $P = 0,9$  (допускается для опытных партий (образцов) установочных серий по согласованию с Госприемкой  $P = 0,8$ ) при одностороннем нижнем ограничении показателя  $K_n$ ;

2) установленное в ТУ или ТЗ значение  $K_n$ ;

3) точность оценки значения  $K_n$  ( $\delta_n$ ), устанавливаемое в ТУ (ТЗ).

Результатом испытаний является точечная оценка  $K_n$  значения  $K_n$ .

Экспериментальное значение коэффициента прочности  $K_n$  определяется по формуле:

$$\hat{K}_n = \frac{n}{N}, \quad (4.6)$$

где  $n$  — число всех учитываемых отказов аппаратуры при испытаниях на прочность при транспортировании (виброустойчивость, прочность при падении);  $N$  — число испытываемых изделий.

Для обеспечения требуемой достоверности  $P = 0,9$  и необ. необходимой точности оценки результатов испытаний минимальное число испытываемых изделий должно быть не менее (кроме испытаний на прочность при падении):

108 при точности  $\delta_n$  оценки  $K_n$  не выше 20 % ( $\delta_n = 0,2$ );

59 при точности  $\delta_n$  оценки  $K_n$  не выше 30 % ( $\delta_n = 0,3$ );

50 при точности  $\delta_n$  оценки  $K_n$  не выше 34 % ( $\delta_n = 0,34$ ).

Соответственно для вероятности  $P = 0,8$  минимальное число испытываемых изделий должно быть не менее:

50 при точности  $\delta_n$  оценки  $K_n$  не выше 20 % ( $\delta_n = 0,2$ );

28 при точности  $\delta_n$  оценки  $K_n$  не выше 30 % ( $\delta_n = 0,3$ );

24 при точности  $\delta_n$  оценки  $K_n$  не выше 34 % ( $\delta_n = 0,34$ ).

Результаты испытаний считают положительными по  $K_n$ , если выполняется условие:

$$\bar{K}_n > K_n. \quad (4.7)$$

В этом случае обеспечивается нижнее граничное условие для

$$(1 - \delta_n) \cdot \bar{K}_n \leq K_n. \quad (4.8)$$

2.4 Задание четвертое. Особенности испытаний аппаратуры на ремонтпригодность

Испытания на ремонтпригодность проводят для оценки соответствия аппаратуры требованиям, предъявляемым к среднему времени восстановления  $T_v$  работоспособного состояния аппаратуры опытных партий (образцов).

Испытания на ремонтпригодность допускается проводить на тех же образцах, на которых проводят испытания на безотказность. При оценке результатов

испытаний допускается учитывать отказы, выявленные при проведении испытаний на безотказность.

При недостаточном числе отказов при испытаниях допускается для обеспечения требуемой степени достоверности  $p = 0,9$  искусственное введение (моделирование) отказов и повреждений в аппаратуру. Перечень отказов и повреждений, учитываемых при оценке  $T_в$ , приводят в методике испытаний.

Виды отказов при моделировании необходимо выбирать в соответствии с наиболее характерными отказами аналогичной аппаратуры и результатами испытаний.

При проведении испытаний на ремонтпригодность должны быть соблюдены следующие условия:

- 1) при проведении ремонта необходимо пользоваться оборудованием и оснасткой, предусмотренными в инструкциях по эксплуатации и ремонту;

- 2) до начала ремонта сведения о месте и виде отказа не должны доводиться до работников, выполняющих ремонт.

Обнаружение отказа, установление причины его возникновения, проверку работоспособности аппаратуры после ремонта проводят в соответствии с эксплуатационной и ремонтной документацией.

При проведении испытаний на ремонтпригодность учитывают время, затраченное на обнаружение и устранение отказов аппаратуры и проверку ее исправленного состояния.

Время простоя по организационным причинам (поиск, доставка запасных частей, материалов, инструмента и т.д.) при оценке показателя ремонтпригодности не учитывают.

Планирование испытаний и оценка результатов проводятся методом среднearифметической оценки, среднего времени восстановления аппаратуры с доверительной вероятностью  $P$ .

Исходными данными испытаний на ремонтпригодность являются:

1) доверительная вероятность  $P = 0,9$  при одностороннем верхнем ограничении среднего времени восстановления (допускается по согласованию с Госприемкой для образцов опытных партий и установочных серий  $P = 0,8$ );

2) установленное в ТЗ значение среднего времени восстановления работоспособного состояния  $T_g$ ;

3) точность оценки значения  $\delta_g$ , среднего времени восстановления, установленная в ТУ (ТЗ).

Результатом испытаний аппаратуры ремонтпригодность является точечная оценка среднего времени восстановления  $\hat{T}_g$ .

Экспериментальное значение среднего времени восстановления работоспособного состояния аппаратуры определяется по формуле:

$$\hat{T}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{gi}, \quad (4.9)$$

где  $t_{gi}$  — время восстановления аппаратуры при  $i$ -м отказе;

$n$  — число отказов;

$N$  — число испытываемых образцов.

Для обеспечения требуемой достоверности  $P = 0,9$  и необходимой точности оценки результатов испытаний минимальное число учитываемых отказов аппаратуры должно быть не менее:

58 при точности  $\delta_g$  оценки  $T_g$  не выше 20 % ( $\delta_g = 0,2$ );

30 при точности  $\delta_g$  оценки  $T_g$  не выше 30 % ( $\delta_g = 0,3$ ).

Соответственно при доверительной вероятности  $P = 0,8$  минимальное число учитываемых отказов  $n$  аппаратуры должно быть не менее:

26 при точности  $\delta_g$  оценки  $T_g$  не выше 20 % ( $\delta_g = 0,2$ );

14 при точности  $\delta_g$  оценки  $T_g$  не выше 30 % ( $\delta_g = 0,3$ ).

Результаты испытаний аппаратуры на ремонтпригодность считают положительными, если в результате испытаний аппаратуры на ремонтоспособность экспериментальное значение среднего времени восстановления работоспособного состояния  $\widehat{T}_B$  аппаратуры меньше установленного значения  $T_B$ , т.е.

$$\widehat{T}_B > T_B, \quad (4.10)$$

В этом случае обеспечивается верхнее граничное условие для  $T_B$ :

$$T_B \leq (1 + \delta_n) \cdot \widehat{T}_B. \quad (4.11)$$

### 3 ИСПЫТАНИЕ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ РЭА ПО ОЦЕНКЕ СРЕДНЕЙ НАРАБОТКИ

В соответствии с вариантом (№ варианта получить у преподавателя) провести испытания аппаратуры по оценке средней наработки. Заполнить таблицу исходных данных, необходимых для проведения испытаний.

### 4 ИСПЫТАНИЯ РЭА НА РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

Испытания на ремонтпригодность допускается проводить на тех же образцах, на которых проводят испытания на безотказность.

Планирование испытаний и оценка результатов проводятся методом среднеарифметической оценки, среднего времени восстановления аппаратуры с доверительной вероятностью  $p=0,9$ .

### 5 ОТЧЕТ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отчет по индивидуальной работе должен содержать:

- а) наименование работы и ее цель;
- б) краткие сведения из теории;
- в) результаты выполнения заданий;

г) выводы.

Контрольные вопросы к индивидуальной работе

- 1 Для чего осуществляют электропрогон?
- 2 Особенности электропрогона для телевизоров черно-белого изображения?
- 3 Особенности электропрогона для телевизоров цветного изображения?
- 4 Что необходимо проверять во время электропрогона на экране телевизора?
- 5 Какие параметры на испытываемых черно-белых телевизорах проверяют после электропрогона?
- 6 Какие параметры на испытываемых цветных телевизорах проверяют после электропрогона?
- 7 Предлагают ли электропрогон отказавшего в работе телевизора?
- 8 В чем особенности электропрогона для электрофонов и электроприемников?
- 9 В чем особенности электропрогона для усилителей звуковой частоты?
- 10 Приведите электрическую схему эквивалента громкоговорителя.
- 11 Приведите особенности испытаний при электропрогоне магнитофонов.
- 12 Приведите формулу определяющую объем выборки при оценке средней наработки на отказ.
- 13 Приведите необходимые условия, которые должны быть соблюдены при проведении испытаний на ремонтпригодность.
- 14 Приведите экспериментальное значение среднего времени восстановления работоспособного состояния аппаратуры.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ИСПЫТАНИЕ РЭА НА НАДЕЖНОСТЬ**

### **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Для повышения качества выпускаемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на конечных стадиях технологических процессов их изготовления проводят предварительные испытания, позволяющие выявить изделия со скрытыми дефектами. Среди различных видов испытаний одним из наиболее распространенных и простых позволяющих провести сравнительно быстро оценку работоспособности устройств является испытание на стендах электропрогона.

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен выполнить следующие виды деятельности:

1) Изучить влияние внешних и внутренних воздействий и факторов на РЭА сказывающихся на надежности, и их классификацию.

2) Изучить классификацию видов испытаний на надежность.

3) Изучить тракт движения магнитной ленты и работу лентопротяжного механизма

4) Провести испытания на стенде в ручном и автоматическом режиме и выявить неисправности.

### **2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

#### **2.1. Задание первое**

Изучить влияние внешних и внутренних факторов воздействующих на РЭА, и сказывающихся на ее надежности, уяснить классификацию видов испытаний на надежность.

Для выполнения задания следует проработать теоретический материал в [с.11-35, с.238-258], а также содержание настоящего материала.

Все воздействия на РЭА можно разделить на внешние и внутренние. Внешние воздействия не связаны с режимом эксплуатации РЭА и определяют условиями хранения, транспортировки, эксплуатации изделия. Внешние воздействия подразделяются на естественные воздействия и воздействия объекта, в состоянии которого находится данная РЭА. Под естественным воздействием понимается совокупность климатических, биологических, космических и механических воздействий.

Воздействия объекта, на котором установлены РЭА, связаны с функционированием.

Внутренние воздействия определяются режимом работы РЭА и характеризуются нагрузками, например электрическими и механическими, связанными функционированием РЭА. Электрические нагрузки вызывают теплоэлектрические и электрохимические процессы, приводящие к старению. Механические нагрузки связаны с наличием в РЭА соединений материалов с различными коэффициентами температурного расширения. В процессе эксплуатации указанные компоненты подвергаются износу.

Все воздействующие факторы по их происхождению делят на две группы: объективные и субъективные. Объективные факторы характеризуют воздействия внешних условий, в которых осуществляется хранение, транспортировка и эксплуатация РЭА. Различают прямые и косвенные объективные факторы. Первые характеризуют естественные воздействия, вторые - воздействия на объект. Субъективные факторы характеризуют человеческую деятельность на этапах проектирования, производства и эксплуатации РЭА. Надежность, одно из важнейших свойств РЭА, оценивается с помощью качественных показателей. Количественный



показатель надежности РЭА – числовое значение показателя, характеризующее одно или несколько свойств, составляющих надежность изделий. Количественные показатели надежности в зависимости от условий ее обеспечения могут изменяться на различных стадиях создания и существования РЭА.

Надежность – сложное свойство объекта, сохраняющее способность выполнять заданные функции, включающее в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации такие свойства как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или сочетание этих свойств объекта.

Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства могут иметь различную относительную значимость [5 с.7].

При анализе надежности, особенно при выборе показателей надежности объекта существенное значение имеет решение, которое должно быть в случае отказа объекта. Если в рассматриваемой ситуации восстановление работоспособности данного объекта при его отказе по каким-либо причинам признается нецелесообразным или неосуществимым (например, из-за невозможности прерывания выполняемой функции), то такой объект в данной ситуации является невозстановимым. Таким образом, один и тот же объект в зависимости от особенностей или этапов эксплуатации может считаться восстанавливаемым и невозстанавливаемым. Например, ЭВМ, используемая не для оперативных вычислений, является объектом восстанавливаемым, так как в случае отказа любая операция может быть повторена, а та же ЭВМ, управляющая сложным технологическим процессом, является невозстанавливаемым объектом, так как отказ или сбой приводит к непоправимым последствиям.

Показатель надежности – техническая характеристика, количественным образом определяющая одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта.

Показатель надежности количественно характеризует, в какой степени данному объекту присущи определенные свойства, обуславливающие надежность. Показатель надежности может иметь размерность (например, среднее время восстановления) или не иметь ее (например, вероятность безотказной работы).

Количественные характеристики применяют в зависимости от назначения систем или ее фактического использования. В связи с этим различают три класса систем.

К 1 классу относятся системы, которые по условию не могут ремонтироваться во время работы. Системы 2 класса должны в произвольный момент времени быть готовыми к работе и не иметь неисправностей в течение заданного времени. К 3 классу относится аппаратура, использующаяся непрерывно, то есть наибольшую часть времени работает безотказно. [6, с. 25-26].

Для показателей надежности проводятся две формы представления: вероятностная и статическая. Вероятностная форма обычно бывает удобнее при априорных аналитических расчетах надежности, статическая – при экспериментальном исследовании надежности механических объектов. Кроме того, оказывается, что одни показатели лучше интерпретируются в вероятностных терминах, а другие – в статических.

В последнее время, с появлением сложных систем, для многих практических расчетов надежности стали использоваться специальные показатели, основными из которых являются:

- 1) вероятность заданной наработки за фиксированное календарное время  $t$ ;
- 2) вероятность наличия не менее чем заданного интервала безотказной работы за фиксированное календарное время  $t$ ;

3) вероятность наличия не менее чем заданного интервала безотказной работы за фиксированное суммарное время  $t$ ;

4) вероятность отсутствия интервала простоя, большего допустимой величины, за фиксированное суммарное время простоя  $t$ ;

5) вероятность отсутствия интервала простоя, большего допустимой величины, за фиксированное календарное время простоя  $t$ .

Первый показатель оказывается важным для тех систем, которые допускают перерывы в работе и могут продолжать выполнение своих функций начиная с любого момента. Эти системы имеют своеобразный временный резерв: для них важно, чтобы за требуемое время суммарная наработка системы составила бы не менее заданной величины (или, иными словами, чтобы суммарное время простоя не превышало определенной величины).

Второй показатель используется для оценки надежности систем, которые имеют возможность повторных попыток выполнения задачи. Эти системы также характеризуются определенной временной избыточностью, необходимо, чтобы система за требуемое время  $t$  проработала непрерывно хотя бы один раз в течение интервала времени, достаточного для выполнения задачи.

Третий показатель является частным случаем второго. Он получается в предположении пренебрежительной малости суммарного времени простоя по сравнению с периодом  $t$ . Для математических моделей в этом случае делается предположение о мгновенном восстановлении объекта после отказа.

Первые два показателя можно использовать для оценки ЭВМ, в которых после сбоя или отказа возможно повторное выполнение прежней программы. Третий показатель полезен для описания систем, которым свойственна своеобразная

«инерционность» в процессе функционирования: эти системы не чувствительны к недостаточно кратковременным перерывам. Примерами могут служить средства обработки территорий управляемых объектов, у которых допускается экстраполяция координат при попадании ограниченного количества данных.

Выбор показателей надежности является конкретной задачей, решение которой существенным образом зависит от характера технического объекта, его назначения и общих требований к процессу и результатам его функционирования.

Показатели надежности в зависимости от уровня рассматриваемого объекта удобно подразделять на оперативные и технические. Оперативными показателями надежности удобно характеризовать системы – это показатели, характеризующие качество функционирования системы с точки зрения потребителя.

Технические показатели имеют своеобразный и технологический характер: они нужны для использования в дальнейших расчетах или статических оценках. Эти показатели назначаются для подсистем (элементов).

Выбор вида показателей зависит в основном от общего назначения системы, но на него может влиять также и степень важности или ответственности функций, выполняемых системой.

Выбирая показатели надежности для технического объекта, следует иметь в виду некоторые простые и очевидные рекомендации:

- 1) общее число показателей надежности для технического объекта должно быть по возможности минимальным;

- 2) следует избегать сложных комплексных показателей, получаемых при вводе каких-либо сверток критериев (например, взвешиванием с различными «весами»);

3) выбранные показатели должны иметь простой физический смысл;

4) выбранные показатели надежности должны допускать возможность проведения подтверждающих (проверочных) оценок на этапе проектирования (аналитических расчетов или имитационного моделирования);

5) выбранные показатели надежности должны допускать возможность статической (опытной) оценки при проведении специальных испытаний или по результатам эксплуатации;

б) выбранные показатели должны допускать задание норм надежности в количественной форме.

Оценки надежности РЭА всегда имеют прочностной характер, поэтому для них используются вероятностные показатели.

Важнейшей характеристикой надежности является вероятность безотказной работы  $p(t)$  – вероятность того, что случайная величина – время  $t_{\phi}$  функционирования РЭА до отказа – будет не меньше заданного интервала времени  $t$  (или, что то же самое, вероятность того, что в пределах заданной наработки отказы в РЭА не возникнут)

$$p(t) = p(t_{\phi} \geq t). \quad (5.1.1)$$

Полагая, что в момент включения РЭА работоспособна:  $p(0)=1$ , можно заметить, что  $p(t)$  есть монотонно убывающая функция, причем  $p(\infty)=0$ ; в любой аппаратуре когда-нибудь произойдет отказ).

С вероятностью безотказной работы  $p(t)$  однозначно связана функция  $Q(t)$  – вероятность отказа РЭА на интервале времени

$$Q(t) = 1 - p(t), \quad (5.1.2)$$

где  $p(t)$  и  $Q(t)$  есть интегральные функции распределения случайной величины  $t_{\phi}$ . Часто надежность удобнее характеризовать плотностью вероятности отказов  $f(t)$

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad (5.1.3)$$

Используя функцию  $f(t)$ , запишем:

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt, \quad (5.1.4)$$

$$P(t) = \int_t^\infty f(t)dt. \quad (5.1.5)$$

Выражение (5.1.5) легко получить, если помнить, что  $f(t)$  удовлетворяет условиям нормировки:

$$\int_0^\infty f(t)dt = 1, \quad (5.1.6)$$

(т.е. при неограниченном увеличении времени  $t$  отказ обязательно произойдет). Подставляя (5.1.4) и (5.1.6) в (5.1.2), получим (5.1.5).

Часто используется величина  $\overline{T}$ , которая называется средним временем безотказной работы

$$\overline{T} = \int_0^\infty tf(t)dt. \quad (5.1.7)$$

Как следует из ее определения, это есть математическое ожидание наработки до первого отказа. Интегрируя (5.1.7) по частям, получим (с учетом (5.1.3))

$$\overline{T} = t \cdot p(t) \Big|_0^\infty + \int_0^\infty p(t)dt \quad (5.1.8)$$

или

$$\overline{T} = \int_0^\infty p(t)dt. \quad (5.1.9)$$

Важной характеристикой надежности является дисперсия среднего времени безотказной работы:

$$\sigma_{\bar{T}}^2 = \int_0^{\infty} t^2 \cdot f(t) dt - \left[ \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \right]^2. \quad (5.1.10)$$

Второе слагаемое в правой части (5.1.10) есть  $\left[ \int_0^{\infty} p(t) dt \right]^2$ . Первое слагаемое двукратным интегрированием по частям проводится к виду:

$$\int_0^{\infty} t^2 f(t) dt = 2 \int_0^{\infty} t p(t) dt. \quad (5.1.11)$$

Тогда для значения  $\sigma^2$  можно записать:

$$\sigma_{\bar{T}}^2 = 2 \int_0^{\infty} t \cdot p(t) dt - \left[ \int_0^{\infty} p(t) dt \right]^2. \quad (5.1.12)$$

До сих пор, мы, рассматривая функцию  $f(t)$ , не делали никаких предположений о работоспособности РЭА до интересующего нас интервала времени. Очевидно, что в зависимости от того, в каком состоянии находилась РЭА до этого интервала будет меняться и значение вероятности безотказной работы. Для того, чтобы учесть это обстоятельство введена ещё одна характеристика надёжности, которая получила название интенсивности отказов и широко используется на практике.

Интенсивность отказов определяется выражением [8, с.9]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \quad (5.1.13)$$

Величина  $\lambda(t)$  есть вероятность того, что РЭА откажет в момент времени, при условии, что до этого момента отказов не было. Ясно, что  $\lambda(t)$  положительна на всем интервале времени  $t \geq 0$ , а при  $t=0$   $\lambda(t) = f(t)$  (т.к.  $p(0)=1$ ).

Найдем вероятность безотказной работы, используя функцию  $\lambda(t)$ . С учетом (5.1.3) выражение (5.1.13) можно переписать в виде

$$\lambda(t) = \frac{d[\ln p(t)]}{dt}, \quad (5.1.14)$$

что после интегрирования обеих частей по  $t$ , дает:

$$p(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (5.1.15)$$

Если  $\lambda(t) = \text{const}$ , то (5.1.15) представляет собой экспоненциальный закон надежности. По этому закону вероятность исправной работы элементов, обладающих интенсивностью отказов  $\lambda$ , убывает со временем по экспоненциальной кривой (рисунок 1).

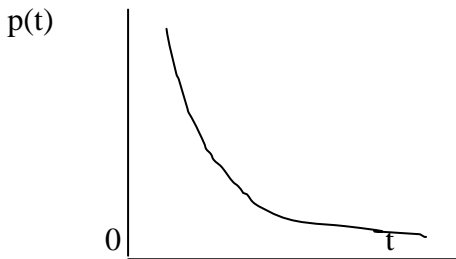


Рисунок 5.1 – Экспоненциальный закон надежности.

Такую кривую называют функцией надежности. Она имеет большое значение для практического использования.

На практике часто представляет интерес вероятность безотказной работы РЭА на интервале времени  $[t_1; t_2]$ . В этом случае говорят об условной вероятности безотказной



работы в момент времени  $t_2$ , при условии, что в момент времени  $t_1$  РЭА была работоспособна  $p \frac{t_2}{t_1}$ .

По аналогии с (5.1.15) можем записать:

$$p(t_2, t_1) = \exp\left[-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt\right]. \quad (5.1.16)$$

С другой стороны

$$p(t_2, t_1) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)}, \quad (5.1.17)$$

где  $p(t_1)$ ,  $p(t_2)$  – вероятности безотказной работы в начале и в конце интервала, соответственно.

Если РЭА состоит из нескольких блоков, причем вероятность безотказной работы каждого блока на интервале времени  $t$  равна  $p_i$ , а отказы статистически независимы, то для вероятности безотказной работы РЭА можно записать:

$$p(t) = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (5.1.18)$$

Если отказы нельзя считать статистически независимыми событиями, то для определения  $p(t)$  можно применить формулу полной вероятности:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n p(H_i) \cdot p\left(\frac{A}{H_i}\right). \quad (5.1.19)$$

Вероятность события  $A$  равна сумме произведений вероятностей каждого из событий  $H_i$ - $P(H_i)$  при выполнении одного из которых может произойти событие  $A$ , на условную плотность вероятности события  $A$  при осуществлении события  $H_i$ - $P(A/H_i)$ .

Для оценки надежности реальных объектов могут быть использованы большинство известных законов распределения случайных величин, если только они удовлетворительно аппроксимируют наблюдаемые процессы. С этой точки зрения

наибольшее применение при оценке надежности РЭА нашли следующие законы: Пуассона, биномиальный, Вейбулла, усеченный нормальный, логарифмически нормальный. [7], С11

Закон Пуассона описывает случайные события, появляющиеся на интервале времени  $t$  с большой частотой, но в каждом случае с малой вероятностью  $P_1(t)$

$$P(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t), \quad (5.1.20)$$

где  $n$  — число появлений события,  $\lambda$  — параметр закона Пуассона.

Характерным признаком закона Пуассона является равенство дисперсии и математического ожидания. Закон Пуассона применяется, например, при оценке ремонтируемых изделий.

Закон Пуассона является частным случаем более общего — биномиального закона распределения, который позволяет оценить вероятность появления некоторого события  $A$  равно  $n$  раз в серии из  $m$  опытов:

$$P(A) = C_m^n P^n (1-p)^{m-n} = \frac{m!}{n!(m-n)!} P^n (1-p)^{m-n}, \quad (5.1.21)$$

где  $p$  — вероятность появления события  $A$  в одном опыте;

$C_m^n$  - число сочетаний из  $m$  по  $n$ .

Биномиальный закон распределения применяется, в основном, при статическом контроле.

Закон Пуассона и биномиальный закон описывают распределение дискретных случайных величин. Рассмотрим теперь законы, описывающие распределение непрерывных случайных величин.

Экспоненциальный закон распределения является частным случаем более общего закона распределения Вейбулла, однако, вследствие его практической ценности, его

обычно рассматривают отдельно. Плотность распределения  $f(t)$  равна

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t). \quad (5.1.22)$$

Характерной особенностью экспоненциального распределения является:  $\lambda = const, t \geq 0$

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = \exp(-\lambda t). \quad (5.1.23)$$

Экспоненциальный закон распределения широко используется для оценки показателей надежности на этапе нормальной эксплуатации в том случае, когда интенсивность отказов можно считать постоянной величиной.

Закон распределения Вейбулла является обобщением экспоненциального распределения. Плотность распределения  $f(t)$

$$f(t) = \frac{1}{\theta} \alpha \cdot t^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right)^{\alpha}. \quad (5.1.24)$$

Функция распределения Вейбулла имеет вид

$$F(t) = \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right)^{\alpha}. \quad (5.1.25)$$

В (5.1.24), (5.1.25)  $\theta, \alpha$  – параметры распределения Вейбулла. При  $\alpha=1$  распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное. Распределение Вейбулла можно использовать для оценки надежности РЭА на этапах приработки и старения, а при  $\alpha=1$  и на этапе нормальной эксплуатации.

Усеченный нормальный закон распределения получается из закона Гаусса при ограничении времени наработки интервалом  $[0, t]$ . Для того, чтобы получить из закона Гаусса усеченный нормальный закон вводится нормирующий множитель  $C$ .

$$f_{y.норм.}(t) = C f(t) \quad (5.1.26)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(t-M)^2}{2\sigma}\right] \quad (5.1.27)$$

где  $M$ ,  $\sigma^2$  – математическое ожидание и дисперсия случайной величины, соответственно.

Для функции распределения должно выполняться условие нормировки:

$$F(t) = C \int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (5.1.28)$$

или для интервала времени  $[t_1; t_2]$

$$F(t) = C \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = 1. \quad (5.1.29)$$

Из (2.29) получаем

$$C = \left[ \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \right]^{-1}. \quad (5.1.30)$$

Подставляя в (2.30) выражение для  $f(t)$ , и, вводя подстановку  $\beta_i = (t_i - M)/\sigma$ , запишем

$$C = \frac{1}{\Phi(\beta_1) - \Phi(\beta_2)}, \quad (5.1.31)$$

где  $\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\beta} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU$  - интеграл вероятности.

В том случае, когда время  $t$  заключено в интервале  $[0, \infty]$  можно записать

$$C_0 = \frac{1}{0.5 + \Phi\left(\frac{M}{\sigma}\right)}, \quad (5.1.32)$$

$$M_{\text{норм}} = M + \frac{\sigma \cdot C_0}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{M}{\sigma}\right)^2\right], \quad (5.1.33)$$

$$\sigma_{\text{норм}}^2 = \sigma^2 \left\{ 1 - \frac{C_0^2}{2\pi} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{M}{\sigma}\right)^2\right] - \frac{C_0}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{M}{\sigma}\right)^2\right] \right\} \quad (5.1.34)$$

Усеченный нормальный закон распределения используется для оценки показателей надежности на этапе

износа и старения и, в некоторых случаях, для определения времени наработки.

Логарифмический нормальный закон распределения применяется в том случае, когда логарифм случайной величины  $t$   $\psi = \lg t$  ( $t \geq 0$ ) имеет нормальное распределение. Плотность вероятности логарифмически нормального распределения имеет вид:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\psi t} \exp\left[-\frac{(\lg t - \mu_\psi)^2}{2\sigma_\psi^2}\right]. \quad (5.1.35)$$

где  $\mu_\psi$  и  $\sigma_\psi$  - математическое ожидание и дисперсия случайной величины  $\psi$  соответственно. Логарифмически нормальное распределение может использоваться для оценки показателей параметрической надежности, отказов, связанных с усталостными повреждениями, для оценки затрат времени на устранение отказов. [7, с. 15].

При выборе закона распределения случайной величины следует, в первую очередь, учитывать насколько точно он аппроксимирует исследуемые зависимости. В таблице 1 приведены основные показатели надежности РЭА при различных законах распределения времени наработки.

Графическое представление законов распределения, используемых для оценки надежности РЭА

### 1. Закон распределения Пуассона

$$p(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} \exp(-\lambda t)$$

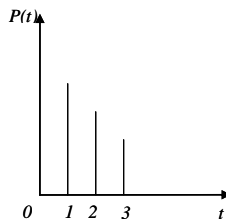


Рисунок 5.2

2. Биномиальный закон распределения

$$p = C_m^n p^n (1-p)^{m-n}$$

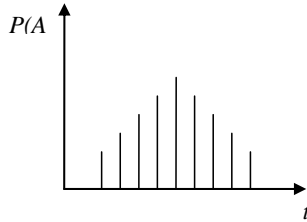


Рисунок 5.3

3. Экспоненциальный закон распределения

$$p(t) = \exp(-\lambda t)$$

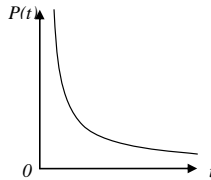


Рисунок 5.4

4. Закон распределения Вейбулла

$$f(t) = \frac{1}{Q} \alpha(t)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{t}{Q}\right)^\alpha \alpha(\alpha\beta) \frac{1}{\alpha} (\alpha-1) \frac{\alpha-1}{\alpha} \exp\left(\frac{\alpha-1}{\alpha}\right)$$

где  $\beta=1/Q$ .

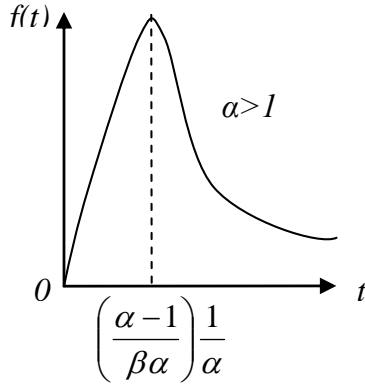


Рисунок 5.5

5. Усеченный нормальный закон распределения

$$f(t) = \frac{C}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(t-M)^2}{2\sigma^2}\right]$$

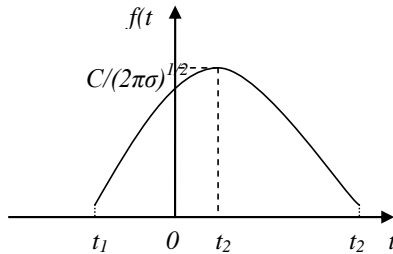


Рисунок 5.6

6. Логарифмический нормальный закон распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - M)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Количественные показатели надежности могут быть единичными и комплексными.

Единичный показатель характеризует одно из свойств (безотказность, долговечность, ремонтпригодность,

сохраняемость), составляющих надежность изделия, а комплексный – несколько свойств.

В зависимости от цели испытаний различают исследовательские и контрольные испытания.

Исследовательские испытания на надежность проводят для определения фактических значений показателей надежности и, при необходимости, законов распределения случайных величин. Контрольные испытания проводят для проверки соответствия показателей надежности требованиям стандарта, ТЗ и ТУ.

В зависимости от того, требуется или не требуется получение в результате испытаний значение показателей надежности, различают определительные и оценочные испытания. Если при испытаниях определяются численные значения показателей надежности, то они являются определительными. При оценочных испытаниях показатели надежности не определяются, а по определенным критериям лишь устанавливается факт соответствия или несоответствия изделия заданным требованиям по надежности.

Определенные испытания в зависимости от цели являются исследовательскими или контрольными. Контрольные испытания могут быть как оценочными, так и определительными.

Исследовательские испытания всегда определительные, а оценочные всегда контрольные.

### 3 ОТЧЕТ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ

Отчет по индивидуальной работе должен содержать:

- а) Наименование работы и ее цель;
- б) Краткие сведения из теории;
- в) Результаты выполнения заданий;
- г) Выводы.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### СТЕНД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИСПЫТАНИЯ РЭА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛА, ВЛАГИ И ХОЛОДА.

#### 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) в процессе эксплуатации подвергается воздействию окружающей среды. Среди множества факторов влияющих на работоспособность РЭА можно выделить три вида воздействия характерных для любого климатического пояса - это воздействие положительной и отрицательной температуры и повышенной влажности. Под влиянием отмеченных факторов в материалах и элементах РЭА протекают сложные физико-технические процессы, изменяющие их свойства и способствующие отказам.

В связи с этим явилось необходимым:

– изучить влияние положительной и отрицательной температуры и влажности на изменение параметров электрорадиоэлементов и радиоматериалов и работоспособность РЭА в целом;

– ознакомиться с принципом работы и конструкциями камер предназначенных для испытания РЭА на воздействие положительных и отрицательных температур и влаги в автоматизированном режиме; провести испытание РЭА на воздействие повышенных и пониженных температур и влаги в автоматизированном режиме.

– ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

#### 2.1 Теоретические сведения

2.1.1 Влияние повышенной температуры на параметры электрорадио элементов и радиоматериалы, и работоспособность РЭА.

Повышение температуры РЭА может происходить под воздействием внешних и внутренних факторов, причем это воздействие бывает непрерывным, периодическим и аperiodическим.

Действие внешних факторов определяется климатическими условиями, расположением РЭА в месте установки и расстоянием до внешних источников тепла. Действие внутренних факторов главным образом зависит от схемы и конструкции РЭА.

Непрерывному тепловому воздействию подвергаются РЭА, работающие в стационарных условиях (в помещениях). Периодическому тепловому воздействию подвергается полевая, самолетная и другая специальная радиоаппаратура подвижного типа. Аperiodическое тепловое воздействие имеет место в аппаратуре, устанавливаемой на ракетах, и в ряде других случаев.

Воздействие повышенной температуры приводит к изменению физико-химических и механических свойств материалов и элементов, что вызывает изменение электрических и механических параметров РЭА. Известно, что большое место в конструкциях различных РЭА и элементов занимают электроизоляционные материалы. В зависимости от физической структуры они бывают кристаллическими и аморфными. При воздействии тепла на аморфные вещества переход из твердого состояния в жидкое происходит постепенно в диапазоне температур, а не скачком, как у кристаллических веществ.

У большинства диэлектриков с понижением температуры ряд электрических свойств улучшается. Поэтому основными критериями определения морозостойкости являются изменения механических параметров материалов. Морозостойкость некоторых изоляционных пленок определяют по появлению трещин при их изгибании, воздействие низкой температуры приводит к сильному

снижению прочности на удар сложных и волокнистых фенопластиков, а также пластмасс на основе эфиров целлюлозы. Однако одновременно имеет место увеличение на 10—30% прочности на разрыв, статический изгиб и сжатие, а также увеличение твердости почти всех пластмасс. Так, например, прочность оргстекла на разрыв возрастает примерно в 2 раза.

Изменение температуры электроизоляционных материалов приводит к изменению следующих основных электрических характеристик: диэлектрической проницаемости, удельного объема и поверхностного сопротивлений,  $t_g$ , угла диэлектрических потерь и электрической прочности. Одновременно изменяются и их механические свойства.

Рассмотрим воздействие воды на материалы.

Возможны две основные формы взаимодействия воды с материалами: при первой форме вода проникает во все трещины, зазоры, капилляры или находится на поверхности вещества, удерживаясь на его мелкодисперсных частицах; при второй форме вода оказывается химически связанной с элементами вещества.

Влияние воды на электроизоляционные материалы часто характеризуют понятиями влагостойкость и водостойкость, для оценки, которых пользуются рядом физических, электрических и механических параметров.

Основным параметром, характеризующим влагостойкость, является степень гигроскопичности материала. Гигроскопичностью называют способность материалов поглощать влагу из воздуха. Она характеризуется степенью гигроскопичности, которая показывает, какой процент влаги впитывает единица веса сухого материала при пребывании в условиях 97 - 100% относительной влажности.

В отличие от влагостойкости водостойкость характеризуется не степенью гигроскопичности, а водопоглащаемостью, которая показывает, какой процент

воды впитывает единица сухого материала при пребывании в воде.

Приведем примеры отрицательного влияния влаги на свойства материалов.

Пленка воды на поверхности диэлектриков ухудшает его электрические параметры, особенно поверхностное сопротивление и пробивное напряжение. Изменение содержания влаги в пластмассах вызывает изменение геометрических размеров, в результате чего возникают внутренние напряжения, приводящие к короблению, появлению трещин. Под действием влаги на изоляционные материалы у них ухудшается не только физико-химические и электрические свойства, но так же ускоряется процесс старения и ухудшаются теплоизоляционные свойства.

Очевидно, что повышенная влажность оказывает влияние не только на материалы, но и на различные радиоэлементы. Проникая между пластинами слюды в слюдяных конденсаторах, влага изменяет их емкость, снижает допустимую величину рабочего напряжения. В керамических и герметизированных конденсаторах влага хотя и не проникает внутрь, но, конденсируясь на поверхности, уменьшает поверхностное сопротивление изоляции. При воздействии влаги на катушки индуктивности увеличиваются потери, снижается добротность и возрастает паразитная емкость. В проволочных резисторах наличие влаги приводит к коррозии и интенсивному окислению проводов и особенно поверхностей подвижных контактов.

С целью определения способности ЭРЭ сохранять свои параметры и внешний вид в пределах норм технических условий, проводят испытания на влияние положительных и отрицательных температур, а также влияние растяжений и на влагоустойчивость.

## 2.1.2 Автоматизированные системы испытания, контроля и диагностики РЭА

Использование ЭВМ и микропроцессорной техники позволили автоматизировать все группы операций технологического процесса испытаний, стало возможно создание комплексной высокоэффективной автоматизированной системы испытаний и контроля (АСИК) РЭА.

Под АСИК будем понимать программно-аппаратный комплекс на базе средств испытательной, измерительной и вычислительной техники, предназначенной для выполнения комплексного контроля изделий РЭА. АСИК предназначена для обеспечения эффективного функционирования испытательного оборудования путем автоматизированного выполнения функций управления технологическим процессом испытания РЭА. В такой системе осуществляется регистрация, сбор, переработка и анализ информации, необходимой для реализации функций управления, а также информации, характеризующей работоспособность испытываемой РЭА в различных условиях эксплуатации.

Комплексная АСИК помимо повышения производительности позволяет высвободить некоторое количество обслуживаемого персонала (например, занятого на обработке и оформлении результатов испытаний), дает возможность оперативно получать и представлять информацию о качестве изделий, повысить надежность и достоверность результатов. Создание АСИК позволяет не только сократить трудоемкость испытаний РЭА, но и повысить точность и достоверность получаемых результатов.

Автоматизация испытаний и контроля дает возможность:

- повысить эффективность разработок объектов испытаний и контроля и уменьшить затраты на их разработку;
- получить качественно новые результаты, достижение которых принципиально невозможно без использования

АСИК;

- сократить сроки испытаний образцов новой техники;
- повысить оперативность в получении, обработке и использовании информации о качестве и надежности РЭА.

Управляющая, информационная и вспомогательная функции АСИК обеспечивают выполнение комплекса задач, отдельных задач, операций и действий направленных на достижение определенных целей. Степень автоматизации функций при создании АСИК определяются возможностью формализации процесса управления испытаниями, производственной необходимостью и должны быть экономически обоснована.

Управляющая функция АСИК состоит в совокупности действий, включающих получение информации о состоянии испытываемого объекта и системы, оценку информации, выбор управляющих воздействий и их реализацию.

Информационная функция заключается в получении (измерении и преобразовании), обработке и передаче информации о состоянии испытываемого объекта, оборудования - внешней и внутренней среды испытательной камеры.

Вспомогательная функция включает сбор и обработку данных о состоянии технического или программного обеспечения и либо представления этой информации персоналу, либо осуществление управляющих воздействий на соответствующие компоненты обеспечения АСИК.

Перечисленные функции АСИК могут выполняться либо во всем интервале функционирования системы, т.е. непрерывно, либо по запросу или временному регламенту, т.е. дискретно.

На рисунке 6.1 представлена автоматизированная система контроля и управления испытательными режимами на базе машин централизованного контроля и управления (МККУ).

Любой иерархический уровень АСИК имеет структуру обеспечения, состоящую из следующих видов: технического, математического, программного, информационного, лингвистического, организационного, методического и метрологического. Следует отметить, что для эффективного функционирования АСИК необходимы совокупность перечисленных элементов системы (а не только оборудование для контроля и испытаний) и совместные усилия разработчиков системы и РЭА. Отметим, что стоимость оборудования контроля и испытаний составляет сравнительно небольшую и разовую (по затратам) часть стоимости всей системы. Все большие затраты (денежные и временные) идут на средства программно-математического обеспечения (до 80-90 % общей стоимости системы).

Техническое обеспечение – совокупность взаимодействующих и объединенных в единое целое устройств; получения, ввода, подготовки, обработки, хранение (накопления), регистрации, вывода, отображения, использования, передачи информации и средств реализации, управляющих воздействий АСК.

Математическое обеспечение – методы, математические модели системы и испытываемых изделий, алгоритмы функционирования АСИК.

Программное обеспечение – программы, необходимые для реализации всех функций АСИК. Программа записываются на носителях; перфолента, перфокартах, магнитных дисках и лентах.

Информационное обеспечение – нормативно-справочная документация, например, содержащая описание стандартных контрольно-испытательных процедур, типовых управляющих решений; форма представления и организации данных в АСИК, в том числе форма документов, видеogramм, массивов и протоколов обмена данными. В состав лингвистического обеспечения АСИК входят языки описания и

манипулирования данными, управления процессами контроля и программирования.

Организационное обеспечение – совокупность правил и предписаний, устанавливающих структуру организации, а также ее предписаний, их функции и требуемое взаимодействие персонала АСИК с комплексом технических средств и между собой.

Методическое обеспечение – документы, в которых содержится состав, правила отбора и эксплуатации компонентов АСИК, последовательности операций, реализующих типовые процедуры контроля, инструкции по работе с оборудованием.

Метрологическое обеспечение АСИК состоит из метрологических средств и инструкций по их применению.

Объектом регулирования (управления) может быть любая из испытательных установок (камера тепла- влаги-холода и т.д.), в которой требуется поддерживать определенный испытательный режим. Выходной параметр объекта регулирования (температура, влажность давление и т.д.) воспринимается датчиком (Д1) и преобразуется в электрический сигнал, удобный для контроля и регулирования. Любое климатическое испытательное оборудование имеет собственный датчик автоматическую систему управления режимом, пульт установки и прибор контроля. Для связи объекта регулирования с МККУ необходима установка самостоятельного датчика Д2 и преобразователя сигнала в унифицированный сигнал 0-5 мА или 0-1 В постоянного тока. Применение отдельного датчика для связи с ЭВМ позволило сделать этот канал независимым и увеличить надежность системы контроля.

Преобразованный сигнал, поступая на вход машины, подается в тракты сравнения и измерения. В блоке сравнения он сравнивается с сигналом, поступающим с наборного поля установок. Наборное поле дублирует режим, выставленный на



пульте установки режима. Блок сравнения выдает команды на запоминающие устройства регулирования отклонений и устройство управления регистрацией отклонений от заданного режима. Команда с устройства регулирования используется как резервная, дублирующая автоматическую систему управления режимом установки. Команда с запоминающего устройства отклонений используется для аварийного отключения установки в случае выхода параметра режима за установленные пределы и одновременно подается на световое табло сигнализации аварийных режимов, указывающее номер испытательного оборудования. Устройство управления регистрацией отклонений выдает команда на автоматический регистратор, фиксирующий время нарушения режима, номер контролируемой точки, на которой это нарушение произошло.

Тракт измерения состоит из блока измерений, в котором входной сигнал преобразуется в информацию, поступающую на блок периодической регистрации и далее на автоматический регистратор (печать информации). Информация о любом параметре может быть вызвана по требованию оператора блоком вызова и высвечена на световом табло. Для дальнейшей обработки на ЭВМ данные могут быть выведены устройством связи с ЭВМ.

Рассматриваемая автоматизированная система испытаний, позволяющая решать задачи управления испытаниями и обработки результатов испытаний, может быть представлена моделью (рисунок 6.2).

Здесь  $U_1, U_2, \dots, U_n$  – рабочие места испытаний, оснащенные специальным оборудованием и средствами контроля и измерений  $W_1, W_2, \dots, W_n$  фиксирующими режимами испытаний  $Z_j$  и параметры испытываемых изделий.

Управление  $j$  режимами контроля параметров РЭА осуществляется как автоматически, так и централизованно с помощью ЭВМ и исполнительных устройств  $V_j, V_0, \dots, V_n$ .

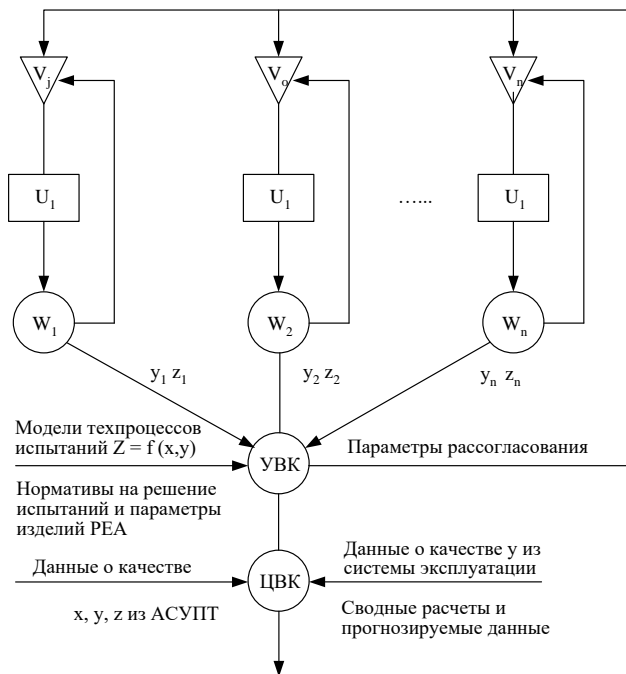


Рисунок 6.1 – Модель автоматизированной системы испытаний (ЦБК – центральный вычислительный комплекс).

## 2.2 Тепловлагокамера.(ТВК)

### 2.2.1 Основные характеристики ТВК (ЕВЕ-2W2УРХ-38)

Источник питания – 380 В. Температурный диапазон от -50°C до +80°C. Относительная влажность от 20% до 90%. Точность поддержания температуры  $\pm 2.5$  градуса. Время охлаждения камеры от +20°C до -30°C - 2 часа. Время нагрева камеры от +20°C до +80°C один час. Охлаждение ступенчатое с герметичным уплотнением (газ фреон) с использованием воды.

### 2.2.2 Индикаторное устройство для установки цифровых программ (ЕУ-101)

Устройство для установки программного управления (отображением и работой цифрового контроллера температуры и влажности, встроенного в панель управления консолью и питанием) управляет отображением рабочего состояния камеры и устанавливает температуру и влажность для рабочих частей. Цифровое индикаторное устройство установки представлено на рисунке 6.2.

Управляющие клавиши:

1) Клавиши системного управления:

POWERON/OFF – включает оборудование (ON), когда переключатель (OFF) устройства для установки программы остается включенным и записывать программы еще можно.

START – клавиша загрузки программы. Она используется для вызова программной комбинации, которая только что была прогнана, и повтора операции.

STOP – клавиша остановки программы. Она используется для прекращения работы режима CONSTANT.

HELP – клавиша используется для переключения системы в режим HELP для того, чтобы экран показал рабочие команды.

2) Цифровые клавиши:

Клавиши 0 - 9, \*, – используются для печатания чисел.

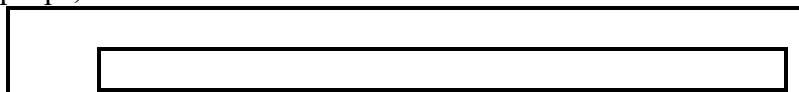
3) Клавиши управлением отображения:

MENU – при нажатии этой клавиши отображается корневое (ROOT) меню.

BACKSTEP/ STEP – клавиша смещения страницы. Они используются для перемещения к следующему пункту или к предыдущему.

< / > – клавиши курсора. Используются для перемещения курсора влево и вправо на экране.

INS – клавиша вставки. При нажатии, буква в позиции курсора,



Contrast							
HELP	START	7	8	9	MENU		
		4	5	6		STREP	
POWER ON/OFF	STOP	1	2	3	INS	BACK	NEXT
		0	•	-	DEL	ENTER	
EY – 101 TABLE SPRES CORP							

Рисунок 6.2 – Индикаторное устройство с панелью управления

перемещается на один интервал вправо.

DEL – клавиша уничтожения. При ее нажатии буква в позиции курсора стирается.

NEXT – клавиша используется для ввода установок и номеров программ, а так же для выполнения программ.

ENTER – используется для ввода установок и номеров программ, а так же для выполнения программ.

### 2.2.3 Панель сигнализации

Панель сигнализации показывает рабочее состояние камеры. Индикаторные устройства панели сигнализации:

POWERSUPPLY – подтверждает то, что питание подается с первичного источника питания. Светится, когда включен прерыватель утечки.

HUMIWATER – подтверждает то, что вода подается на лоток увлажнения в воздушном кондиционере.

REFWATER – загорается для того, чтобы показать, что давление подачи охлаждающей воды холодильной машины ниже предписанной величины, и указать на состояние приостановки воды, ко когда ее подача по какой-либо причине приостановлена.

TROUBLE – загорается и звучит зуммер, когда есть неисправность.

OVERHEAT – загорается для отображения состояния перегрева.

FAN-MOTOR – загорается для того чтобы, показать, что двигатель воздушного циркулятора перегружен и перегрет. Начинает работать и камера действует в качестве камеры температуры и влажности.

Переключатели REF 1, 2, 3, 4– используются для управления холодильными машинами.

REF-PRESSURE – загорается, чтобы показать, что сработал переключатель высокого давления холодильной машины.

REF-OTHER – загорается, чтобы показать, что двигатель холодильной машины перегружен (перегрет),

HUNDIFAER – загорается, чтобы показать, что лоток увлажнения не имеет воды и нагреватель увлажнителя находится в состоянии выпаривания до суха.

#### 2.2.4 Панель переключения работы

Эта панель содержит рабочие переключатели для оборудования, устройства защиты от перегрева, интегрирующие измерительные приборы и т.д.

POWER – когда этот переключатель нажат (ON), цифровое индикаторное устройство для установки температуры и влажности, устройство записи, циркулятор воздуха, лампочка «OPERATING» и т.д. – начинает работу, и камера действует в качестве температурной камеры.

HUMIDITY – когда нажат этот переключатель, вода подается на лоток увлажнения, схема управления влажностью начинает работать и камера действует в качестве камеры температуры и влажности.

Переключатели REF1, 2, 3, 4– используются для управления холодильными машинами.

POWERSAVE – используется для уменьшения мощности холодильной машины REF 1, для оптимальной работы в пределах определенного диапазона температур и влажности.

NONFROST – используется для работы без замерзания.

SUPERCOOL – используется, когда нужно резко понизить температуру и когда в камере существенно большая нагрузка.

DEFROST – используется для впрыска воды на испаритель для удаления инея. Оттаивание начинается тогда, когда переключатель DEFROST поворачивается на MAN.ON.

Переключатель DRAIN для слива воды из лотка увлажнения.

### 2.2.5 Защитное устройство от перегрева

Это одно из устройств мер безопасности, делающее возможным установку верхнего температурного предела с целью предотвращения повреждения образцов и камеры путем чрезмерного повышения температуры. Это устройство следует устанавливать на 10 °C выше, чем заданная температура или на максимально безопасную температуру для образцов. Когда срабатывает устройство защиты от перегрева, камера прекращает работу, загорается лампочка «TROUBL» на панели сигнализатора и звучит зуммер, загорается лампочка «OVERHEAT».

Процедуру, которую нужно выполнить до начала работы и после установки образцов.

Нажать на клавишу TOWERON(OFF), в передней части устройства для установки на камере появится сообщение (рисунок 1.5) и камера автоматически переходит в состояние ожидания управления режимом CONTRAST.

### 2.2.6 Выбор режима

Осуществляется на экране ROOTMENU. Нажать <MENU>. Появится экран (рисунок 6.5). Выбрать нужный

пункт, используя клавиши <STEP> и <BACK STEP> для перемещения курсора.

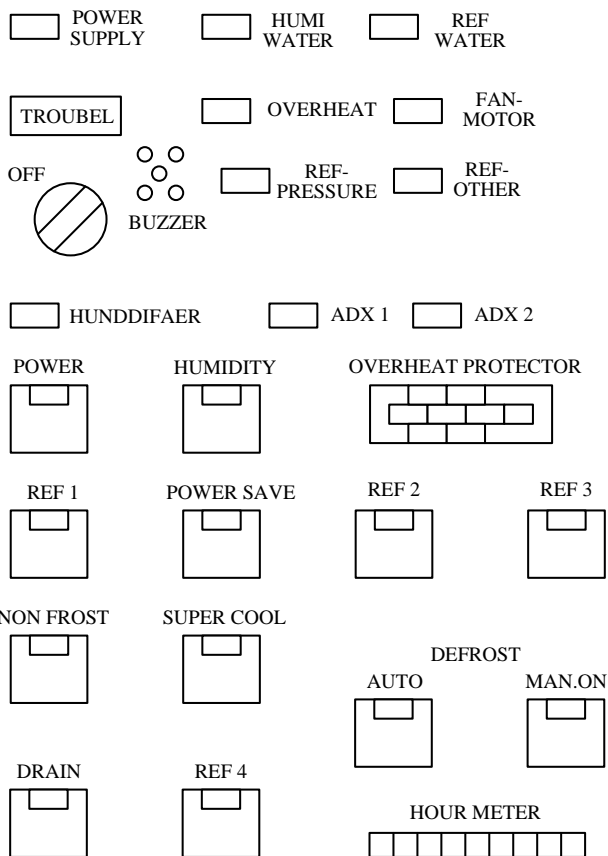


Рисунок 6.3 Панель устройства дистанционной сигнализации панель переключателей работы

Переместитесь к следующей странице путем нажатия <NEXT>. Переместить курсор к нужному режиму и нажать <ENTER>. Система введет этот режим и на табло появится первый экран для этого режима:

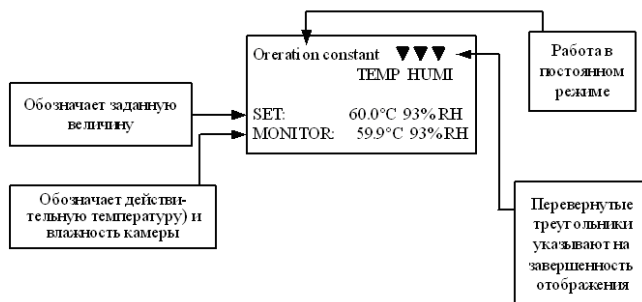


Рисунок 6.4 Сообщение выводимое на индикаторе камеры при автоматическом переходе в состояние ожидания управления режимом CONTRAST

<pre> ROOTMENU&gt; MONITOR (CHAMBER TEMP, HUMID) CONSTANT (SET, PRGM-CONST) PROGRAM (RUN,EDIT,CHK,CTK) </pre>	<p>1. Режим диспетчерского управления (мониторный режим). Показывает температуру и влажность камеры, текущую установку, установку предела, текущий рабочий режим.</p>
<p>2. Постоянный режим. Изменение установок для работы в постоянном режиме. Включение холодильника. Переключение между постоянным и программным режимами</p> <p>3. Программный режим Составление программ, Проверка программ.</p>	

Рисунок 6.5 Сообщение на экране камеры при нажатии «menu»

- 1) Режим устройства контроля (Monitormode). Показывает температуру и влажность на выходе устройства для кондиционирования воздуха.
- 2) Постоянный режим (Constantmode). Замена установок на постоянный прогон. Разрешает выбор действующих устройств (релейная установка). Переключение с PROGRAM на прогон CONSTANT.
- 3) Программный режим (Programmode). Составление и редактирование программ. Запуск и установка прогона PROGRAM. Проверка программ.
- 4) Режим установки пределов (Limitsetmode). Установка верхнего и нижнего пределов температуры и влажности.



5) Режим установки защиты (Protectsetmode). Блокировка клавиатуры. Защита программ и программ таймера от записи.

6) Режим вычисления (Calculationmode). Переход между температурой по сухому термометру и относительной влажностью.

7) Режим таймера (Timermode). Отображение графика и установка часов. Установка операции с таймером.

2.2.7 Управление температурой с постоянным значением (режим CONSTANT)

- 1) Установить OVERHEATPROTECTOR (устройство защиты от перегрева) на 10° выше, чем температура управления.
- 2) Включить (ON) переключатель TOWER.
- 3) Для управления температурой установить цифровое индикаторное устройство для установки температуры и влажности. Соблюдать меры предосторожности.
- 4) Включить (ON) соответствующие рабочие переключатели оборудования в соответствии с предписанным выбором.

2.2.8 Управление температурой и влажностью с постоянным значением (режим CONSTANT)

- 1) Установить OVERHEATPROTECTOR на 10° выше, чем температура управления.
- 2) Установить переключатель TOWER в положение ON.
- 3) Для управления температурой и влажностью установить цифровое индикаторное устройство в состояние готовности для записи температуры и влажности
- 4) Нажав на переключатель HUMIDITY, установить его в положение ON.
- 5) В соответствии предписанными разделами установить рабочие переключатели соответствующего оборудования в положению ON.

2.2.9 Программное управление температурой с постоянным значением (PROGRAMRAN)

- 1) Установить OVERHEATPROTECTOR на 10° выше, чем температура управления.
- 2) Нажав на переключатель POWER, установить его в положение ON.
- 3) Выбрать программную комбинацию работы.
- 4) Привести в действие программу.

2.2.10 Программное управление температурой и влажностью с постоянным значением (PROGRAMMRUN)

- 1) Установить OVERHEATPROTECTOR на 10° выше, чем температура управления.
- 2) Нажав на переключатель, установить его в положение ON.
- 3) Выбрать программную комбинацию работы.
- 4) Нажав на переключатель HUMIDITY, установить его в положение ON. (В это время вода в лоток увлажнения должна подаваться).
- 5) Привести в действие программу.

1.2.11 Меры предосторожности

- 1) Нельзя задавать температуру или влажность выше, чем верхние пределы или ниже, чем нижние пределы. Для сброс пределов следует возвратиться к корневому меню ROOT и выбрать LIMITSETMODE (затем установить предел).
- 2) Если установки изменять не нужно, нажать NEXT.

2. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Получаем у преподавателя испытываемое изделие. Испытательные параметры уточняются перед подготовкой испытываемого изделия для загрузки в камеру тепла и холода.

При проведении испытаний осуществляем регистрацию электрических параметров образца.

### 3. ОТЧЕТ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отчет по индивидуальной работе должен содержать.

- а) наименование работы и ее цель;
- б) краткие теоретические сведения;
- в) результат выполнения заданий;
- г) выводы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияет положительная и отрицательная температура на диэлектрические характеристики радиоматериала?

2. Перечислите основные параметры изучаемой камеры тепла и холода.

3. Как влияет повышенная влажность на электрические параметры диэлектрика?

4. Приведите способы защиты РЭА от влаги.

5. Приведите основные характеристики предлагаемой камеры тепла и влажности (ТВК).

6. Приведите структурную схему ТВК.

7. Как влияет повышение температуры на работу транзисторов, диодов, микросхем и электролитических конденсаторов?

8. С какой целью в установке ТВК используются «сухой» и «мокрый» термометры?

9. Для какой цели служит испаритель влаги в установке ТВК?

10. С помощью какого устройства происходит

регистрация параметров в установке ТВК?

11. Приведите основные названия управляющих клавиш на панели сигнализации.

12. Перечислите основные меры предосторожности при работе установки ТВК.

13. Приведите основные функции АСИК.

14. Приведите структуру обеспечения АСИК.

15. Что является объектом регулирования АСИК?

16. Приведите параметры унифицированных сигналов.

17. Каковы функции трактов сравнения и измерения в структурной схеме АСИК?

18. Какие датчики используются для считывания информации в камере ТВК и их характеристики?

19. Для чего необходимо "наборное поле" и устройство управления регистрацией отклонений?

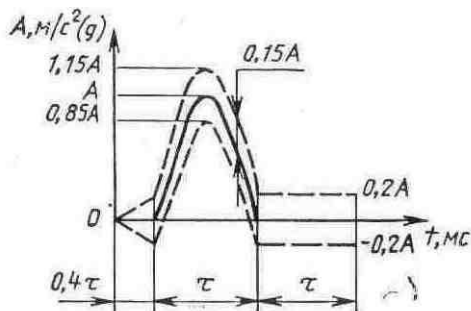
20. Приведите модель АСИК.

21. Каковы основные функции табло (панели) сигнализации?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

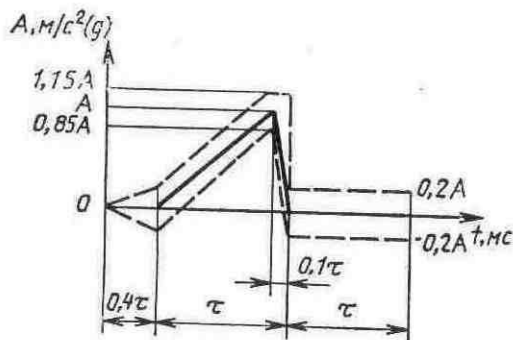
ГОСТ 11478-88

Испытания на воздействие механических ударов одиночного действия проводят на ударном стенде, который должен воспроизводить импульс любой из трех форм, приведенных на черт. 1-3.



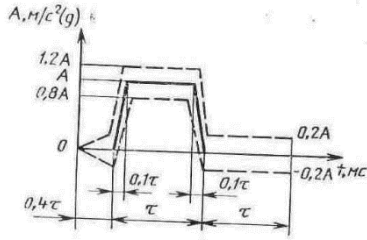
Черт.1.

Полусинусоидальный импульс ударного воздействия.  
 $A$  – амплитуда ускорения.  $\tau$  – длительность импульса.



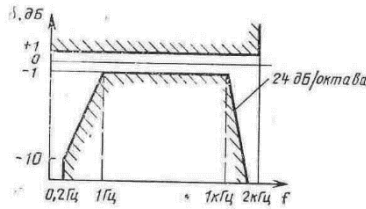
Черт.2.

Треугольный (пилообразный) импульс ударного воздействия.  
 $A$  – амплитуда ускорения.  $\tau$  – длительность импульса.



Черт.3.

Трапецеидальный импульс ударного воздействия.  
 $A$  – амплитуда ускорения,  $\tau$  – длительность импульса.



Черт.4

Методы измерений параметров ударного импульса – по ГОСТ 20.57.406.

Порядок, в котором перечислены формы ударного импульса, не указывает какой-либо предпочтительности. Измеренное пиковое ударное ускорение должно находиться в пределах допусков, указанных пунктирными линиями на чертежах.

Максимальное ускорение в контрольной точке, перпендикулярное к основному направлению ударного воздействия, не должно превышать в любое время 30% значения величины максимального ускорения номинального импульса в намеченном направлении при определении его посредством измерительной системы с амплитудно-частотной

характеристикой, которая должна находиться в пределах, показанных на черт.4.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### I. КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Рассмотрим следующую модель испытаний.

Пусть на испытании находится  $N_0$  изделий и пусть испытания считаются законченными, если все они отказали. Причем вместо отказавших образцов отремонтированные или новые не ставятся. Тогда критериями надежности данных изделий являются:

- вероятность безотказной работы  $P(t)$ ;
- частота отказов  $a(t)$ ;
- интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ;
- средняя наработка до первого отказа  $T_{cp}$ .

Вероятностью безотказной работы называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Согласно определению:

$$P(t) = (T > t), \quad (4.12)$$

где  $t$  — время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы;

$T$  — время работы изделия от его включения до первого отказа.

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением:

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (4.13)$$

где  $N_0$  — число изделий в начале испытания;

$n(t)$  — число отказавших изделий за время  $t$ ;

$\bar{P}(t)$  — статистическая оценка вероятности безотказной работы.

При большом числе  $N_0$  изделий статистическая оценка  $\bar{P}(t)$  практически совпадает с вероятностью безотказной работы  $P(t)$ . На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность отказа  $Q(t)$ .

Вероятностью отказа называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными, поэтому

$$Q(t) = P(T \leq t), \bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}, Q(t) = 1 - P(t). \quad (4.14)$$

Частотой отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются.

Согласно определению:

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (4.15)$$

где  $n(\Delta t)$  — число отказавших образцов в интервале времени от  $t - \Delta t/2$  до  $t + \Delta t/2$ .

Частота отказов есть плотность вероятности (или закон распределения) времени изделия до первого отказа. Поэтому

$$a(t) = -P'(t) = Q'(t), Q(t) = \int_0^t a(t) dt,$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t a(t) dt. \quad (4.16)$$

Интенсивностью отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.



Согласно определению:

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{\Delta t}{N_{cp} \Delta t}, \quad (4.17)$$

где  $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$  — среднее число исправно работающих изделий в интервале  $\Delta t$ ;

$N_i$  — число изделий, исправно работающих в начале интервала  $\Delta t$ ;

$N_{i+1}$  — число изделий исправно работающих в конце интервала  $\Delta t$ .

Выражение (6) есть статистическое определение интенсивности отказов. Вероятная оценка этой характеристики находится из выражения:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (4.18)$$

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны между собой зависимостью:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (4.19)$$

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы изделия до отказа.

Как математическое ожидание,  $T_{cp}$  вычисляется через частоту отказов (плотность распределения времени безотказной работы):

$$M(t) = T_{cp} = \int_{-\infty}^{+\infty} t a(t) dt. \quad (4.20)$$

Так как  $t$  положительно и  $P(0) = 1$ , а  $P(\infty) = 0$ , то

$$T_{cp} = \int_0^{+\infty} P(t) dt. \quad (4.21)$$

По статистическим данным об отказах средняя наработка до первого отказа вычисляется по формуле:

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i. \quad (4.22)$$

где  $t_i$  — время безотказной работы  $i$ -го образца;

$N_0$  — число испытываемых образцов.

Как видно из формулы (4.22), для определения средней наработки до первого отказа необходимо знать моменты выхода из строя всех испытываемых элементов. Поэтому для вычисления  $\bar{T}_{cp}$  использовать указанную формулу неудобно. Имея данные о количестве вышедших из строя элементов  $n_i$  в каждом  $i$ -ом интервале времени, среднюю наработку до первого отказа лучше определять из уравнения:

$$\bar{T}_{cp} \approx \sum_{i=1}^m n_i \cdot t_{cpi} / N_0. \quad (4.23)$$

### ТИПОВАЯ ЗАДАЧА И ЕЕ РЕШЕНИЕ

Решите задачу 1, увеличив  $n(\Delta t_i)$  на число, соответствующее номеру вашего варианта.

Задача 1. На испытании находилось  $N_0 = 1000$  образцов неремонтируемой аппаратуры. Число отказов  $n(\Delta t)$  фиксировалось через каждые 100 час работы ( $\Delta t = 100$  час). Данные об отказах приведены в табл. 1. Требуется вычислить количественные характеристики надежности и построить зависимости характеристик от времени.

Данные об отказах к задаче 2 – Таблица 1

i	$\Delta t_i$ , час	$n(\Delta t_i)$	i	$\Delta t_i$ , час	$n(\Delta t_i)$	i	$\Delta t_i$ , час	$n(\Delta t_i)$
1	0-100	50	11	1000-1100	15	21	2000-2100	12
2	100-200	40	12	1100-1200	14	22	2100-2200	13

3	200-300	32	13	1200-1300	14	23	2200-2300	12
4	300-400	25	14	1300-1400	13	24	2300-2400	13
5	400-500	20	15	1400-1500	14	25	2400-2500	14
6	500-600	17	16	1500-1600	13	26	2500-2600	16
7	600-700	16	17	1600-1700	13	27	2600-2700	20
8	700-800	16	18	1700-1800	13	28	2700-2800	25
9	800-900	15	19	1800-1900	14	29	2800-2900	30
10	900-1000	14	20	1900-2000	12	30	2900-3000	40

Решение: Аппаратура относится к классу невосстанавливаемых изделий. Поэтому критериями надежности будут  $P(t)$ ,  $a(t)$ ,  $\alpha(t)$ ,  $T_{cp}$ .

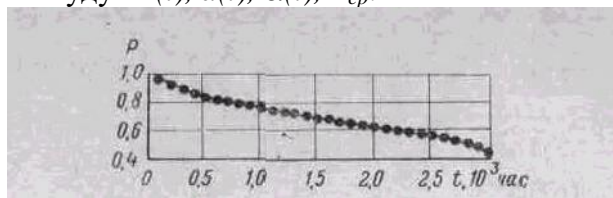


Рис. 1. Зависимость  $P$  от  $t$  (к примеру 1).

Вычислим  $P(t)$ . На основании формулы (2) имеем

$$\bar{P}(100) = \frac{N_0 - n(100)}{N_0} = \frac{1000 - 50}{1000} = 0,95,$$

$$\bar{P}(200) = \frac{1000 - 90}{1000} = 0,91,$$

$$\bar{P}(1000) = \frac{1000 - 575}{1000} = 0,425.$$

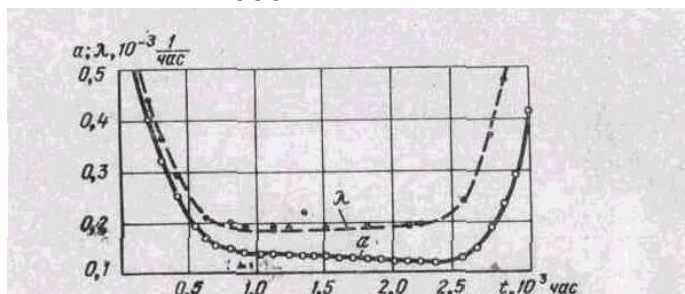


Рис. 2 Зависимость  $a$  и  $\alpha$  от  $t$  (к примеру 1).

Для расчета характеристик  $a(t)$  и  $\alpha(t)$  применим формулы (4) и (5), тогда

$$\bar{a}(50) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} = \frac{50}{1000 \cdot 100} = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{час}},$$

$$\bar{a}(150) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{час}},$$

$$\bar{a}(2950) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{час}},$$

$$\bar{\alpha}(50) = \frac{n(\Delta t)}{\Delta t N_{\text{cp}}} = \frac{50}{100(1000 + 950)/2} = 0,514 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{1}{\text{час}},$$

$$\bar{\alpha}(150) = \frac{40}{100(950 + 910)/2} = 0,43 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{час}},$$

$$\bar{a}(2950) = \frac{40}{100(465 + 425)/2} = 0,9 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{час}}.$$

Значения  $\bar{P}(t)$ ,  $\bar{a}(t)$  и  $\bar{\alpha}(t)$ , вычисленные для всех  $\Delta t_i$  приведены в табл. 2, а их зависимости от времени — на рис. 1 и 2.

Вычисленные  $\bar{P}(t)$ ,  $\bar{a}(t)$  и  $\bar{\alpha}(t)$  значения к примеру 1 —

Таблица 2

$i$	$\Delta t_i$ , час	$\bar{P}(t)$	$\bar{a}(t), 10^{-3} \cdot 1/\text{час}$	$\bar{\alpha}(t), 10^{-3} \cdot 1/\text{час}$
1	0-100	0,950	0,50	0,514
2	100-200	0,910	0,40	0,430
3	200-300	0,878	0,32	0,358
4	300-400	0,853	0,25	0,289
5	400-500	0,833	0,20	0,238
6	500-600	0,816	0,17	0,206
7	600-700	0,800	0,16	0,198
8	700-800	0,784	0,16	0,202
9	800-900	0,169	0,15	0,193
10	900-1000	0,755	0,14	0,184
11	1000-1100	0,740	0,15	0,200
12	1100-1200	0,726	0,14	0,191
13	1200-1300	0,712	0,14	0,195
14	1300-1400	0,699	0,13	0,184
15	1400-1500	0,985	0,14	0,202
16	1500-1600	0,972	0,13	0,192
17	1600-1700	0,659	0,13	0,195
18	1700-1800	0,646	0,13	0,200
19	1800-1900	0,632	0,14	0,220
20	1900-2000	0,620	0,12	0,192
21	2000-2100	0,608	0,12	0,195
22	2100-2200	0,595	0,13	0,217

23	2200-2300	0,583	0,12	0,204
24	2300-2400	0,570	0,13	0,225
25	2400-2500	0,556	0,14	0,248
26	2500-2600	0,540	0,16	0,290
27	2600-2700	0,520	0,20	0,376
28	2700-2800	0,495	0,25	0,490
29	2800-2900	0,465	0,30	0,624
30	2900-3000	0,425	0,40	0,900

Следует иметь в виду, что в табл. 3 данные  $\bar{P}(t)$  приведены для концов интервалов  $\Delta t_i$ , а данные для  $\bar{a}(t)$  и  $\bar{\alpha}(t)$  — для середины интервалов  $\Delta t_i$ . Поэтому определение  $P(t)$  по формуле (1) и данным табл. 3 не даст значений  $\bar{P}(t)$ , указанных в таблице.

Вычислим среднее время безотказной работы, предположив, что на испытании находились только те образцы, которые отказали.

По формуле (12), учитывая, что в данном случае  $m=t_k/\Delta t=3000/100=30$  и  $N_0=575$ , имеем

$$\bar{T}_{cp} \approx \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{cpi}}{N_0} =$$

$$\frac{50 \cdot 50 + 40 \cdot 150 + 32 \cdot 250 + \dots + 30 \cdot 2850 + 40 \cdot 2950}{575} = 1400 \text{ час.}$$

Полученное значение средней наработки до первого отказа является заниженным, так как опыт был прекращен после отказа 575 образцов из 1000, поставленных на испытание.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## II. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ОСНОВНОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ

На практике очень часто приходится вычислять вероятность безотказной работы высоконадежных систем. При этом произведение  $\lambda_c t$  значительно меньше единицы, а вероятность безотказной работы  $P(t)$  близка к единице. В этом случае, разложив  $e^{-\lambda_c t}$  в ряд и ограничившись первыми двумя его членами, с высокой степенью точности можно вычислить  $P(t)$ .

Тогда основные количественные характеристики надежности можно с достаточной для практики точностью вычислить по следующим приближенным формулам:

$$P_c(t) \approx 1 - \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i = 1 - \lambda_c t, \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i,$$
$$T_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^r N_i \lambda_i} = \frac{1}{\lambda_c}, \quad a(t) \approx \lambda_c \cdot (1 - \lambda_c t). \quad (13)$$

Вычисление количественных характеристик надежности по приближенным формулам не дает больших ошибок для систем, вероятность безотказной работы которых превышает 0,9, т.е. для  $\lambda t \leq 0,1$ .

При расчете надежности систем часто приходится перемножать вероятности безотказной работы отдельных элементов расчета, возводить их в степень и извлекать корни. При значениях  $P(t)$ , близких к единице, эти вычисления можно с достаточной для практики точностью выполнять по следующим приближенным формулам:

$$p_1(t) \cdot p_2(t) \dots p_N(t) \approx 1 - \sum_{i=1}^N q_i(t),$$

$$p_i^N(t) = 1 - Nq_i(t), \sqrt[N]{p_i(t)} = 1 - \frac{q_i(t)}{N}, \quad (14)$$

где  $q_i(t)$  – вероятность отказа  $i$ -го блока.

В зависимости от полноты учета факторов, влияющих на работу изделия, различают прикидочный, ориентировочный и окончательный расчет надежности.

### ТИПОВАЯ ЗАДАЧА И ЕЕ РЕШЕНИЕ

Решите задачу 2, заменив значения  $P_i$  по формуле

$$P_i = P_{i \text{ зад}} - \frac{N}{1000},$$

где  $P_{i \text{ зад}}$  – значение вероятности исправной работы прибора, приведенное в примере;

$N$  – номер вашего варианта.

Задача 2. Система состоит из пяти приборов, вероятности исправной работы которых в течение времени  $t = 100$  час равны:  $p_1(100) = 0,9996$ ;  $p_2(100) = 0,9998$ ;  $p_3(100) = 0,9996$ ;  $p_4(100) = 0,999$ ;  $p_5(100) = 0,9998$ . Требуется определить частоту отказов системы в момент времени  $t = 100$  час.

Предполагается, что отказы приборов независимы и для них справедлив экспоненциальный закон надежности.

Решение. По условию задачи отказы приборов независимы, поэтому вероятность безотказной работы системы равна произведению вероятностей безотказной работы приборов. Тогда по формуле (13) для случая высоконадежных систем имеем

$$P_c(100) \approx 1 - \sum_{i=1}^5 Q_i(100) = 1 - (0,0004 + 0,0002 + 0,0004 + 0,001 + 0,0002) = 0,9978.$$

Так как вероятность безотказной работы близка к единице, то в соответствии с формулой (12) для  $P(t)$



интенсивность отказов можно вычислить из выражения  $\alpha_c = \frac{1 - P_c(T)}{T}$ . Подставляя значения  $P_c(100)$  и время  $t = 100$  час, получим

$$\alpha_c = \frac{1 - 0,9978}{100} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/час.}$$

Тогда частота отказов в соответствии с формулой (12) будет

$$T_{cp} = 2,195 \cdot 10^{-5} \text{ 1/час.}$$

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

##### *Задание для самопроверки*

1. На испытание было поставлено 30 изделий. Из них 2 отказало на 5000 ч, за интервал 5000-7000 ч отказало еще 4 изделия. Требуется определить частоту и интенсивность отказов в промежутке 5000-7000 ч.

2. Используя данные задачи 1 определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделий за 5000 ч.

3. Используя данные задачи 1 определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделий за 7000 ч.

4. На испытание было поставлено 50 изделий. Из них 3 отказало на 4000 ч, за интервал 4000-7000 ч отказало еще 7 изделия. Требуется определить частоту и интенсивность отказов в промежутке 4000-7000 ч.

5. Используя данные задачи 4 определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделий за 4000 ч.

6. Используя данные задачи 4 определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделий за 7000 ч.

7. РТС состоит из 3-х блоков, которые выполнены на ИМС средней степени интеграции. Число ИМС в блоках  $n_1=75$ ;  $n_2=100$ ;  $n_3=85$ . Требуемая вероятность безотказной работы РТС  $p(t)=0,95$ , в течение  $t=10^4$  ч.

$t_x = M + 0,1736\sigma = 3052 \text{ ч}$  8. Используя данные задачи 7 определить допустимую интенсивность отказов и вероятности безотказной работы РТС, при условии, что требуемая вероятность безотказной работы  $p(t)=0,9$ , в течение  $t=10^5 \text{ ч}$ .

9. РТС состоит из 2-х блоков. Число ИМС в блоках  $n_1=80$ ;  $n_2=105$ , в течение  $t=2 \cdot 10^4 \text{ ч}$ . Определить допустимую интенсивность отказов и вероятности безотказной работы  $p_1(t)$  и  $p_2(t)$  блоков РТС.

Наработка до отказа подчиняется экспоненциальному закону.

10. В состав РЭА входят 3 блока, интенсивности отказа каждого из которых  $\lambda_1=1,7 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ,  $\lambda_2=2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ,  $\lambda_3=1,4 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ . Определить вероятность безотказной работы РЭА  $p(t)$  на этапе нормальной эксплуатации в течение  $t=10^4 \text{ ч}$ . РЭА выходит из строя при отказе любого блока.

11. В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой одного электронного устройства. За весь период наблюдений отказов наблюдалось 20 раз. До начала наблюдения станция находилась в выключенном состоянии. Время работы 1200 ч. Определить среднюю наработку на отказ.

12. До начала наблюдения РЭС проработало 256 ч, к концу наблюдения наработка РЭС составила 1242 ч. Определить среднюю наработку на отказ, если за весь период наблюдений отказов наблюдалось 16 раз.

13. Проводились испытания 8-и электронных устройств до 4-х отказов на каждый. Суммарная наработка всех устройств составила 4200 ч. Определить распределение отказа  $T_{cp}$ . Закон распределения отказов экспоненциальный.

14. Испытывались 10 РЭС до 5 отказов на каждое. Суммарная наработка всех РЭС составила 5000 ч. Оценить среднюю наработку до отказа  $T_{cp}$ , если закон распределения отказов экспоненциальный.

15. Система состоит из 13100 элементов, средняя интенсивность отказов которых  $\lambda_{cp}=0,39 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ . Определить вероятность безотказной работы в течение  $t=72 \text{ ч}$ .

16. Используя данные задачи 15 вычислить среднюю наработку до первого отказа.

17. РЭС состоит из 14500 элементов, со средней интенсивностью отказов  $\lambda_{cp}=1,4 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ . Какова вероятность безотказной работы в течение  $t=48 \text{ ч}$ .

18. Используя данные задачи 17 вычислить среднюю наработку до первого отказа.

19. Система состоит из  $N=6$  ИМС, вероятности безотказной работы которых в течение времени  $t$  равны  $P=0,95; P=0,99; P=0,959; P=0,995; P=0,96; P=0,94$ . Определить вероятность безотказной работы системы.

20. Система состоит из  $N=2$  блоков, со средней наработкой до первого отказа:  $T_1=160 \text{ ч}, T_2=220 \text{ ч}$ . Определить среднюю наработку до первого отказа системы, при экспоненциальном законе распределения случайной величины.

---

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинский В.Д. Контроль и испытание радиоаппаратуры. - М.: Энергия. 1970. - 336с.
2. Глудкин О.П., Черняев В.Н. Технология испытания микроэлементов радиоэлектронной аппаратуры и интегральных микросхем: Учеб. Пособие. - М.: Энергия, 1980.- 360с.
3. Испытание радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование /Под ред. А.И.Коробова: Учеб. Пособие. - М.: Радио и связь, 1987. - 272с.
4. Грудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1991. –336 с.
5. Резиновский А.Л. Испытание на надежность радиоэлектронных комплексов. – М.: Радиосвязь, 1985. – 165 с.
6. Ефремов Г.С. БД Забегалов. Испытание РЭА на надежность. Планирование и оценка показателей. - Горький, 1974,- 44с.
7. Бродский М.А. Аудио-и видеоманитофоны.-Мн., 1995,-476с.
8. Игнатович В.Г., Митюхин А.И. Регулировка и ремонт бы товой радиоэлектронной аппаратуры. -Мн., 1993,-367с.
9. Надежность технических систем: Справочник/ Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
10. Надежность автоматизированных систем управления: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Я.А. Хетагурова. – М.: Высшая школа, 1979. – 287 с.
11. Кейзман В. Б. Оценка и обеспечение надежности радиоэлектронной аппаратуры: Учеб.пособие. – Воронеж: ВПИ, 1987 – 82 с.
12. Основы расчетов по статической радиотехнике. А.М. Заездный. – М.: Связь, 1969. – 447 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1.....	2
Лабораторная работа №2.....	22
Лабораторная работа №3.....	41
Лабораторная работа №4.....	66
Лабораторная работа №5.....	86
Лабораторная работа №6.....	104
Приложение 1.....	124
Приложение 2.....	126
Приложение 3.....	134
Приложение 4.....	136
Библиографический список.....	139

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА РЭС

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Техническая диагностика РЭС»  
для студентов направления подготовки 11.03.03  
«Конструирование и технология электронных средств»,  
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных  
средств») всех форм обучения

Составители:

Костюков Александр Сергеевич  
Башкиров Алексей Викторович

Компьютерный набор А.С. Костюков

Подписано к изданию

Уч.-изд. л.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14