

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

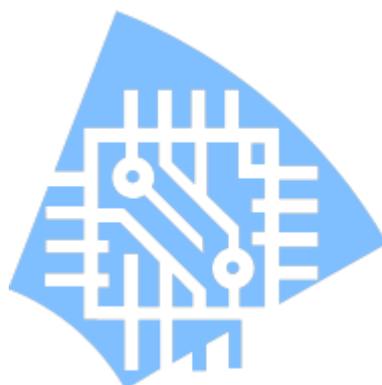
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Теория точности в разработке конструкций и технологий»
для студентов направления 11.03.03 «Конструирования и технология электронных
средств»
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм
обучения



УДК 681.3

Составители:

доктор. техн. наук А. В. Башкиров,
канд. техн. наук И.С. Бобылкин.

Определение математической модели параметрической надежности: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория точности в разработке конструкций и технологий» для студентов направления 11.03.03 «Конструирования и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Башкиров, И.С. Бобылкин. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 32 с.

Методические указания содержат краткие теоретические и практические сведения о проведении испытаний на воздействие тепла, холода и механической нагрузки.

Предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Теория точности в разработке конструкций и технологий» для студентов 4 курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле LRTTI5-6.doc.
Таб. 5 Ил. 11. Библиогр.: 10 назв.

УДК 681.3
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 №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

Цель работы: целью работы является освоение методики и приобретение практических навыков в определении модели параметрической надежности, позволяющей определять и прогнозировать периодичность работ по техническому обслуживанию и ремонту деревообрабатывающих машин с целью повышения их надежности.

1. Указания по выполнению работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить теоретический материал [1].

Задача определения математической модели параметрической надежности решается исходя из следующих предпосылок:

параметр машины $a(t)$ в процессе эксплуатации меняется в пределах допуска от величины a_0 до a (рисунке 1);

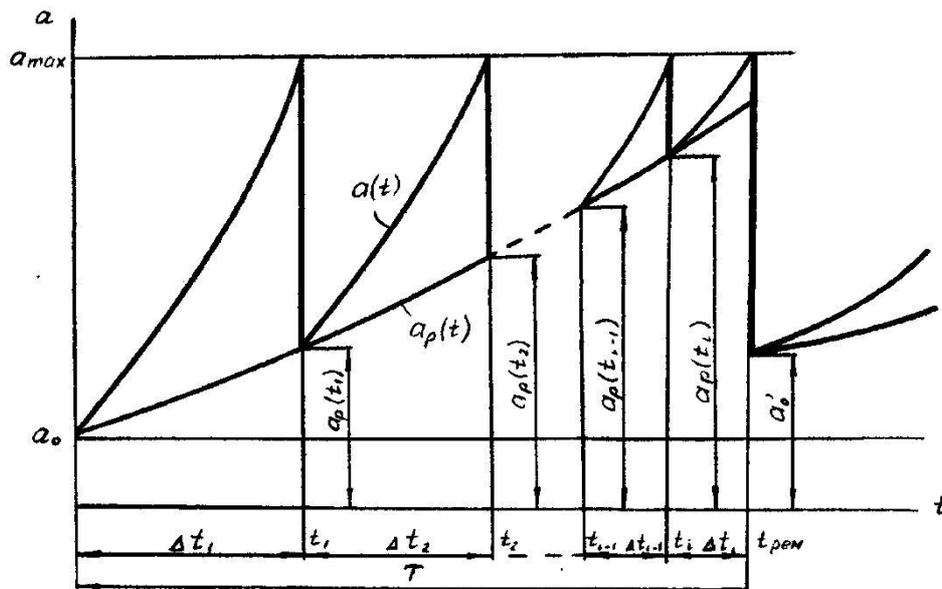


Рис.1. Графическая интерпретация математической модели параметрической надежности

в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_i параметр $a(t)$ достигает верхнего допустимого предела a_{max} и машина подвергается регулировке, понижающей параметр до значений $a_p(t_1), a_p(t_2), \dots, a_p(t_i)$;

величина $a(t) - a_p(t)$ линейно зависит от продолжительности межрегулировочного периода t_i с постоянным угловым коэффициентом K ;

в каждый момент времени скорость изменения величины $[a(t) - a_p(t)]'$ характеризующая степень износа, пропорциональна $a(t)$ с коэффициентом пропорциональности.

2. Порядок выполнения работы

Определение математической модели параметрической надежности производится в следующей последовательности:

1) в соответствии с вариантом индивидуального задания по таблице 1 определить исходные данные для расчета - начальный параметр машины a_0 (мм), параметр машины к моменту регулировки $a(t)$ (мм), наработка машины до регулировки t (тыс. час), предельное значение параметра a_{max} (мм);

2) рассчитать значения коэффициентов K и λ ;

3) определить длительность 1, 2 и 3 межрегулирующих интервалов и значения функции $a_p(t)$ в конце каждого из них;

4) по результатам расчета построить график модели параметрической надежности;

5) сформулировать выводы и рекомендации по периодичности работ по техническому обслуживанию и ремонту машин с целью повышения их надежности.

3. Пример определения модели параметрической надёжности

1) Исходные данные по варианту (табл. 9):

начальный параметр a_0 , мм - 0,45

параметр машины к моменту регулирования $a(t)$, мм - 0,56

параметр машины после регулирования $a_p(t)$, мм - 0,48

наработка машины до регулирования t , тыс. час - 0,44

предельное значение параметра a_{max} , мм - 1,00.

2) Рассчитываем значения коэффициентов K и λ :

$$K = \frac{a(t) - a_0}{\Delta t} = \frac{0.56 - 0.45}{0.44} = 0.1818; \quad (5.1)$$

$$\lambda = \frac{2}{\Delta t} \frac{a_p(t) - a_n(t)}{a_n(t) - a_0} = \frac{2}{0.44} \frac{0.48 - 0.45}{0.48 - 0.45} = 0.1466 \quad (5.2)$$

3) Рассчитываем произведение $\lambda \Delta t_0$ из выражения:

$$\lambda \Delta t_0 = \frac{\lambda a_{max}}{K} - \frac{\lambda a_0}{K} = \frac{0.1466 \cdot 1.0}{0.1818} - \frac{0.1466 \cdot 0.45}{0.1818} = 0.8064 - 0.3629 = 0.4435$$

Таблица 1

Варианты индивидуальных заданий по расчету математической модели параметрической надежности

№ варианта	a_0 , мм	$a(t)$, мм	$a_p(t)$, мм	a_{max} , мм	t , тыс. час
1	0,10	0,30	0,15	1,0	0,30
2	0,10	0,34	0,15	1,1	0,35
3	0,10	0,27	0,13	0,9	0,25
4	0,12	0,33	0,19	1,0	0,35
5	0,30	0,42	0,34	1,0	0,25
6	0,40	0,56	0,43	1,2	0,52
7	0,20	0,33	0,24	1,0	0,28
8	0,15	0,35	0,18	0,9	0,55
9	0,25	0,63	0,29	1,1	0,65
10	0,20	0,34	0,22	0,8	0,35
11	0,22	0,40	0,26	1,1	0,35

Продолжение табл.1

12	0,25	0,53	0,29	1,2	0,55
13	0,30	0,48	0,32	1,1	0,60
14	0,12	0,30	0,15	0,7	0,55
15	0,15	0,35	0,17	0,7	0,65
16	0,17	0,30	0,19	0,6	0,50
17	0,40	0,58	0,43	1,3	0,61
18	0,30	0,48	0,33	1,2	0,53
19	0,25	0,43	0,29	1,3	0,40
20	0,20	0,44	0,23	1,1	0,48

4) Определяем длительность первого межрегулировочного промежутка:

$$\lambda \Delta t_1 = \ln 1 - \frac{\lambda \Delta t_0}{1 - \frac{\lambda a_{\max}}{K}} \ln 1 = \frac{0.4435}{1 - \frac{0.1466 \cdot 1.0}{0.1818}} \ln 0.7545 = \frac{0.4435}{1.8064} \cdot 0.2817$$

$$\Delta t_1 = \frac{0.2817}{1.92} \cdot \lambda \cdot 0.1466$$

5) Значение функции $a_p(t_1)$ в конце первого интервала:

$$a_p(t_1) = a_{\max} - K \Delta t_1 = 1.0 - 0.1818 \cdot 1.92 = 0.6509$$

6) Определяем длительность второго межрегулировочного промежутка:

$$\lambda \Delta t_2 = \ln 1 - \frac{\lambda \Delta t_1}{1 - \frac{\lambda a_{\max}}{K}} \ln 1 = \frac{0.2817}{1.8064} \cdot 0.1695$$

$$\Delta t_2 = \frac{0.1695}{\lambda} = \frac{0.1695}{0.1466} = 1.16 \text{ тыс. час.}$$

7) Значение функций $a_p(t_2)$ в конце второго интервала:

$$a_p(t_2) = a_{\max} - K \Delta t_2 = 1.0 - 0.1818 \cdot 1.16 = 0.7891$$

8) Аналогично рассчитываем значения t_3 и $a_p(t_3)$ для третьего интервала:
 $t_3 = 0,67$; $a_p(t_3) = 0,8781$.

9) По результатам расчета строим график модели параметрической надежности (рис.7).

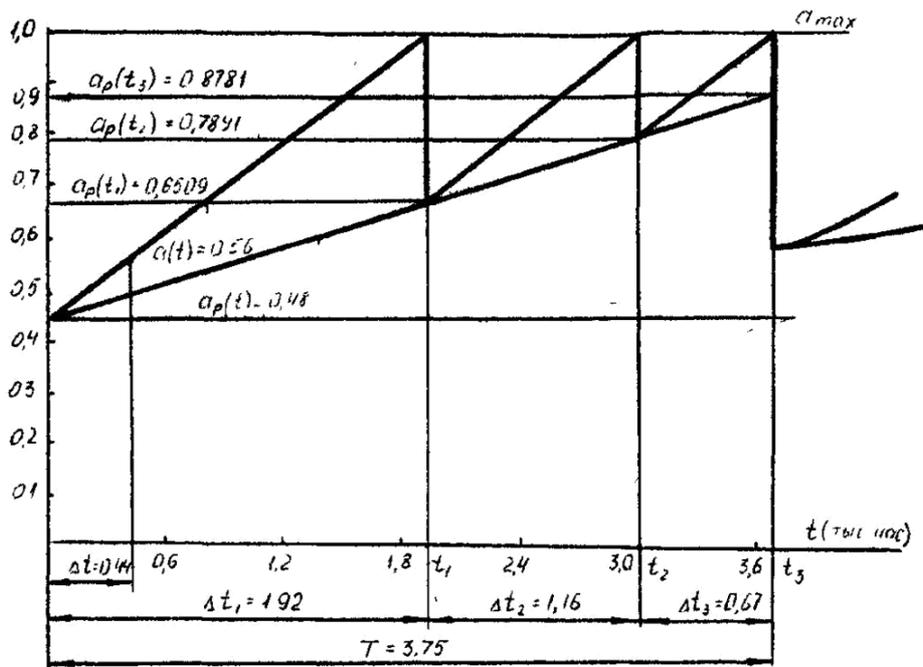


Рис.2. Расчетный график модели параметрической надежности

4. Содержание отчета

- 1) Название и цель работы.
- 2) Расчеты, необходимые для построения графика модели параметрической надежности.
- 3) График модели параметрической надежности.
- 4) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1) Укажите причины изменения технического состояния машины в эксплуатации.
- 2) Поясните понятие регулировки.
- 3) Сущность коэффициентов K и \dots .
- 4) Описание модели параметрической надежности

Лабораторная работа №6

ИСПЫТАНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭС

Цель работы : в лабораторной работе изложена процедура испытания ЭС на надежность на примере лентопротяжного механизма видеомагнитофона. Приводятся математические соотношения, используемые в теории надежности. Описывается технология испытания лентопротяжного механизма видеомагнитофона на надежность с использованием специального лабораторного стенда в автоматическом и ручном режимах.

1. Общие указания

В лабораторной работе изложена процедура испытания ЭС на надежность на примере лентопротяжного механизма видеомагнитофона. Приводятся математические соотношения, используемые в теории надежности. Описывается технология испытания лентопротяжного механизма видеомагнитофона на надежность с использованием специального лабораторного стенда в автоматическом и ручном режимах.

Для повышения качества выпускаемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на конечных стадиях технологических процессов их изготовления проводят предварительные испытания, позволяющие выявить изделия со скрытыми дефектами.

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 [1.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 определяются 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 ЭС, связаны с функционированием.

Внутренние воздействия определяются режимом работы РЭА и характеризуются нагрузками, например электрическими и механическими, связанными с функционированием ЭС. Электрические нагрузки вызывают теплоэлектрические и электрохимические процессы, приводящие к старению ЭС. Механические нагрузки связаны с наличием в ЭС 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;
- 6) 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_{ϕ} 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)

$$p(t) = P(t_{\phi} > t). \quad (6.1)$$

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

$$Q(t) = 1 - p(t), \quad (6.2)$$

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

$$f(t) = -\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dP(t)}{dt}, \quad (6.3)$$

Используя функцию $f(t)$, запишем:

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (6.4)$$

$$P(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (6.5)$$

Выражение (6.5) легко получить, если помнить, что $f(t)$ удовлетворяет условиям нормировки:

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1, \quad (6.6)$$

(т.е. при неограниченном увеличении времени t отказ обязательно произойдет).

Подставляя (6.4) и (6.6) в (6.2), получим (6.5).

Часто используется величина T , которая называется средним временем безотказной работы

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad (6.7)$$

Как следует из ее определения, это есть математическое ожидание наработки до первого отказа. Интегрируя (2.7) по частям, получим (с учетом (6.3))

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} t p(t) dt - \int_0^{\infty} p(t) dt \quad (6.8)$$

или

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} p(t) dt. \quad (6.9)$$

Важной характеристикой надежности является дисперсия среднего времени безотказной работы:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} t^2 f(t) dt - \left[\int_0^{\infty} t f(t) dt \right]^2, \quad (6.10)$$

Второе слагаемое в правой части (2.10) есть $\int_0^{\infty} [p(t) dt]^2$. Первое слагаемое двукратным интегрированием по частям проводится к виду:

$$\int_0^{\infty} t^2 f(t) dt = 2 \int_0^{\infty} t p(t) dt, \quad (6.11)$$

Тогда для значения σ^2 можно записать:

$$\sigma_T^2 = 2 \int_0^t p(t) dt \left[\int_0^t p(t) dt \right]^2, \quad (6.12)$$

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 [3, с.9]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \quad (6.13)$$

Величина $f(t)$ есть вероятность того, что РЭА откажет в момент времени, при условии, что до этого момента отказов не было. Ясно, что $f(t)$ положительна на всем интервале времени $t \geq 0$, а при $t=0$ $f(t) = f'(t)$ (т.к. $p(0)=1$).

Найдем вероятность безотказной работы, используя функцию $f(t)$. С учетом (6.3) выражение (6.13) можно переписать в виде:

$$\lambda(t) = \frac{d[\ln p(t)]}{dt}, \quad (6.14)$$

что после интегрирования обеих частей по t , дает:

$$p(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (6.15)$$

Если $\lambda(t) = \text{const}$, то (6.15) представляет собой экспоненциальный закон надежности. По этому закону вероятность исправной работы элементов, обладающих интенсивностью отказов λ , убывает со временем по экспоненциальной кривой (рисунок 1).

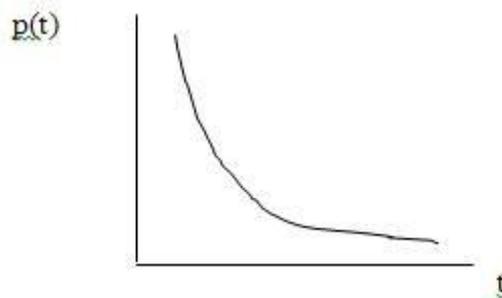


Рис.3. Экспоненциальный закон надежности.

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 (6.15) можем записать:

$$p(t_2, t_1) = \exp\left[-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt\right]. \quad (6.16)$$

С другой стороны:

$$p(t_2, t_1) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)} \quad (6.17)$$

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:

$$p(t) = \prod_{i=1}^n p_i. \quad (6.18)$$

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

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) p\left(\frac{A}{H_i}\right). \quad (6.19)$$

Вероятность события А равна сумме произведений вероятностей каждого из событий H_i - $P(H_i)$ при выполнении одного из которых может произойти событие А, на условную плотность вероятности события А 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, с.11].

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

$$P(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t), \quad (6.20)$$

где n – число появлений события, λ – 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 А равно n раз в серии из m опытов:

$$P(A) = C_m^n p^n (1-p)^{m-n}, \quad (6.21)$$

где p – вероятность появления события А в одном опыте; C_m^n – число сочетаний из m по n .

Биномиальный закон распределения применяется, в основном, при статистическом 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:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (6.22)$$

Характерной особенностью экспоненциального распределения является:

$$\lambda = \text{const}, t \geq 0$$

$$P(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (6.23)$$

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 $f(t)$:

$$f(t) = \frac{1}{\theta} \alpha t^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\alpha\right), \quad (6.24)$$

Функция распределения Вейбулла имеет вид:

$$F(t) = \exp\left(-\frac{t^\alpha}{\theta}\right), \quad (6.25)$$

В (6.24), (6.25) θ, α – 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 .

$$f_{у.норм.}(t) = \frac{C f(t)}{\int_0^t C f(t) dt}, \quad (6.26)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(t-M)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (6.27)$$

где M, σ^2 – математическое ожидание и дисперсия случайной величины, соответственно.

Для функции распределения должно выполняться условие нормировки:

$$\int_0^\infty C f(t) dt = 1 \quad (6.28)$$

или для интервала времени $[t_1; t_2]$

$$\int_{t_1}^{t_2} C f(t) dt = 1, \quad (6.29)$$

Из (6.29) получаем:

$$C = \left[\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \right]^{-1}, \quad (2.30)$$

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

$$C = \frac{1}{\Phi(\beta_1) - \Phi(\beta_2)}, \quad (6.31)$$

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

$$C_0 = \frac{1}{0.5 \Phi\left(\frac{M}{\sigma}\right)}, \quad (6.32)$$

$$M_{у.норм} = M + \frac{\sigma C_0}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{M}{\sigma}\right)^2\right]; \quad (6.33)$$

$$\sigma_{у.норм}^2 = \sigma^2 \left\{ 1 - \frac{C_0^2}{2\pi} \exp\left[-\left(\frac{M}{\sigma}\right)^2\right] - \frac{C_0}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\left(\frac{M}{\sigma}\right)^2\right] \right\} \quad (6.34)$$

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:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\psi} t} \exp\left[-\frac{(\lg t - \mu_\psi)^2}{2\sigma_\psi^2}\right], \quad (6.35)$$

где μ_ψ - математическое ожидание и дисперсия случайной величины соответственно. Логарифмически нормальное распределение может использоваться для оценки показателей параметрической надежности, отказов, связанных с усталостными повреждениями, для оценки затрат времени на устранение отказов.

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

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

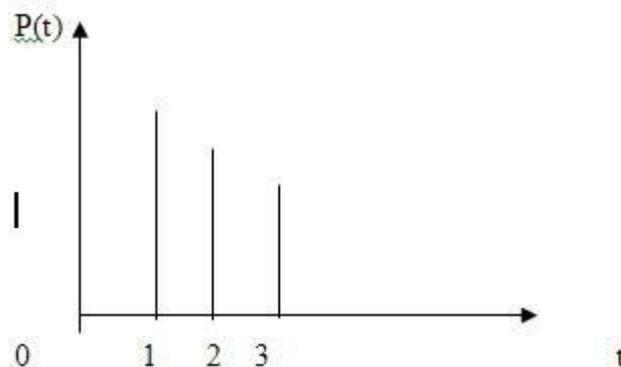


Рис.4. Закон распределения Пуассона

2. Биномиальный закон распределения

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

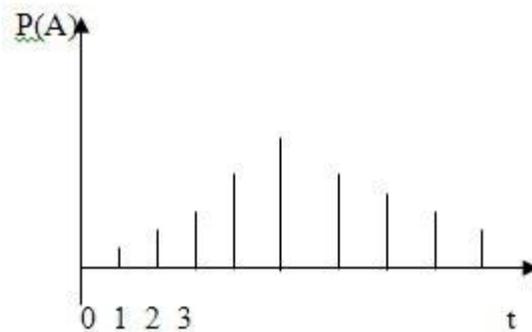


Рис.5. Биномиальный закон распределения

3. Экспоненциальный закон распределения

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

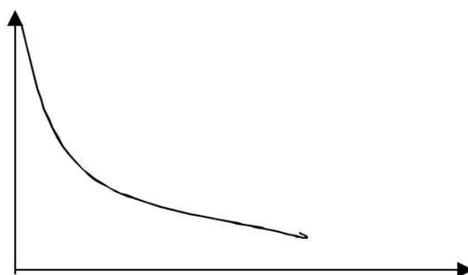


Рис.6. Экспоненциальный закон распределения

4. Закон распределения Вейбулла

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

, где $\beta = \frac{1}{Q}$

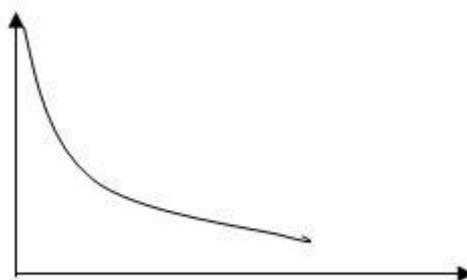


Рис.7. Закон распределения Вейбулла

4. Усеченный нормальный закон распределения

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

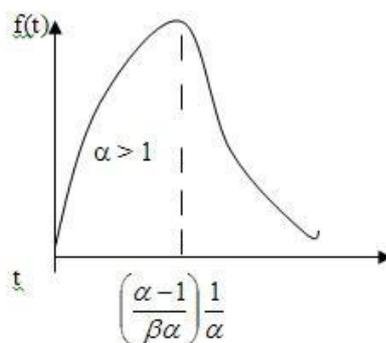


Рис.8. Усеченный нормальный закон распределения

6. Логарифмический нормальный закон распределения

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

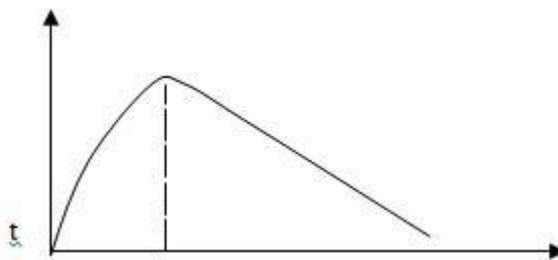


Рис.9. Логарифмический нормальный закон распределения

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.

2.2. Задание 2

Изучить тракт движения магнитной ленты и работу лентопротяжного механизма

Лентопротяжный механизм (ЛПМ) видеоманитофона предназначен для перемещения магнитной ленты около магнитных головок с заданной номинальной скоростью.

ЛПМ состоит из основных и вспомогательных узлов. Основные узлы: литое шасси с впрыснутыми стойками (2,7,9,13); блок вращающихся головок (БВГ)(8); механизм заправки; блок электродвигателей. Вспомогательные: узел перемотки; подающий и приемный подкатушечные узлы; кронштейн с ленточным тормозом; прижимной ролик; моховик; муфты перемотки; программная пластинка, замок контейнера; стоповые тормоза; стирающая головка; отводные демпфирующие ролики.

Основные узлы тракта движения магнитной ленты показаны на рисунке 8. 34

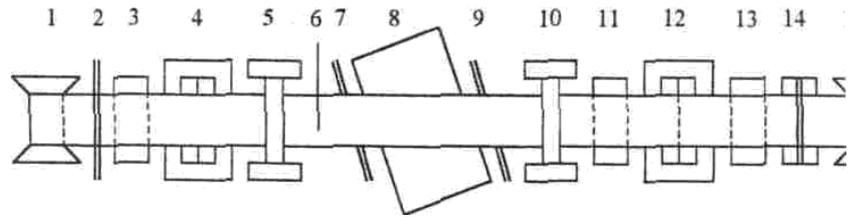


Рис.10. Основные узлы тракта движения магнитной ленты.

1 - подающая катушка; 2 - стойка механизма натяжения ленты; 3,11- демпфирующие ролики; 4 - стирающая головка; 5,10 - обводные ролики; 6 - магнитная лента; 7,9 - наклонные стойки; 8-БВГ; 12 - блок магнитных головок; 13 - стойка; 14 - ведущий вал с прижимным роликом; 15 - приемная катушка.

РАБОТА ЛПМ. В исходном положении ЛПМ - в режиме «стоп» - ролики заправки занимают ближнюю к подкатушечным узлам позицию, магнитная лента находится в кассете. Следует учесть, что ЛПМ спроектирован таким образом, что поднятие контейнера с видеокассетой (ВК) возможно только в режиме «стоп». В воспроизведении подается напряжение на двигатель заправки (15), вращающий момент двигателя, через рычаг и промежуточные шестерни (5), передается на колесики заправочного механизма, ролики (6) которого охватывают видеоленту и движутся в пазах до фиксации. При этом лента охватывает БВГ. По окончании процесса заправки двигатель заправки отключается одновременно с этим включая двигатель рабочего хода (14), приводящий во вращение маховик с тон-валом (8), в дальнейшем механизм работает подобно ЛПМ звуковых магнитофонов.

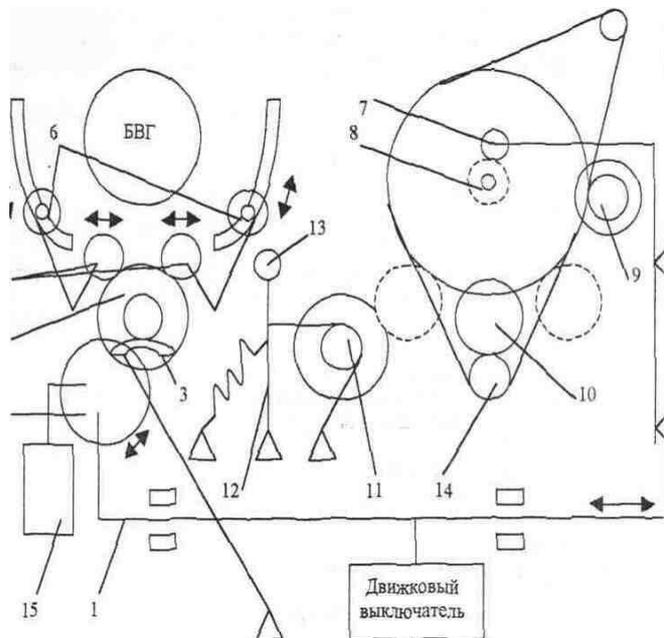


Рис.11. – Упрощенная кинематическая схема ЛПМ

1 - программная планка; 2 - программная шестерня; 3 - зубчатый сектор; 4 - промежуточная шестерня; 5 - шестерня привода роликов заправки; 6 - ролики заправки; 7 - прижимной ролик; 8 - тощал; 9 - приемный узел; 10 - ролик перемотки; 11 - подающий узел; 12 - рычаг сервотормоза натяжения ленты; 13 - сервотормоз ленты; 14 - двигатель рабочего хода; 15 -двигатель заправки.

Двигатель БВГ начинает работу одновременно с двигателем заправки. При нажатии кнопки «стоп» на двигатель заправки подается напряжение противоположной полярности и механизм заправки работает в обратном направлении.

Работа механизма при перематке ленты по направлению рабочего ход обратно производится только при приведение ЛПМ в положение «стоп». В включении режима перематки на двигатель заправки подается напряжение той полярности, что и при расправке ленты. Двигатель вращает программную шестерню, снимая блокировку с ролика перематки. Ролик под действием пружины подводит соответствующему подкассетнику и осуществляется перематка. Ролик приводит движение двигателем ведущего вала. По окончании перематки ЛПМ автоматически возвращается в исходное положение «стоп».

2.3. Задание 3

Изучить описание лабораторного стенда испытаний на надежность ЛПМ.

Описание лабораторного стенда.

Стенд предназначен для испытаний на надежность ЛПМ ЩЦПЗ.776.046 видеоманитофона ВМ на каретке ЩЦМ4.200.151. Стенд дает возможность производить испытания как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Управление режимами работы ЛПМ осуществляется однокристалльной микроЭВМ КР1005ВЕ1.

Конструктивно стенд выполнен в виде изделия настольного типа. Основой конструкции блока электропрогона ЛПМ является каркас, на котором размещен блок питания и кассета для установки 4-х блоков управления. На передней планке блока управления ЛПМ размещены:

а) тумблер ВКЛ (включение питания блока); б) переключатель

КОНТРОЛЬ (выбор режима управления);

в) переключатель КАССЕТА (выбор условий электропрогона); г)

переключатель РЕЖИМ (выбор режима электропрогона ЛПМ);

д) ←кнопка (обратная перематка);

е) →кнопка (прямая перематка);

ж) →кнопка (рабочий ход);

з) кнопка (стоп); и)

светодиод ОТКАЗ; к)

светодиод ВКЛ.

Работа стенда основана на независимом друг от друга электропрогоне 4-х ЛПМ в автоматическом или ручном режимах.

Испытательный стенд позволяет производить электропрогон ЛПМ при 3-х условиях:

а) электропрогон с видеокассетой ВК-30; б) электропрогон с

технологической кассетой (без ленты);

в) электропрогон без блока вращающихся головок.

В режиме а) стенд управляет ЛПМ как бытовой ВМ. В режиме б) стенд отключает систему фотодатчиков ЛПМ имитируя наличие ленты в кассете. Для переключения в данный режим необходимо перевести клавишу КАССЕТА в отжатое положение.

В режиме в) (нажата клавиша РЕЖИМ) стенд снимает импульсы с таходатчика ЛПМ, усиливает их, и подает на входы датчиков положения БВГ имитируя при этом его вращение.

При отжатии клавиши КОНТРОЛЬ отключается система формирования команд с платы автоматики и команды формируются в ручном режиме при помощи кнопок на передней панели.

Контрольные вопросы

1. Воздействию каких факторов учитывается при испытании ЭС?
2. Надежность, чем она характеризуется?
3. Дайте определения единичным и комплексным показателям надежности.
4. Дайте определения видов испытаний и их взаимосвязь.
5. Нарисуйте и поясните тракт движения магнитной ленты в ЛПМ видеоманитофона.
6. Перечислите и сравните существующие форматы видеозаписи.
7. Чем отличаются технические показатели надежностей оперативных?
8. Что такое вероятность безотказной работы устройства?
9. Что такое вероятность отказа ЭС на интервале времени?
10. Приведите аналитическое выражение для среднего времени безотказной работы?
11. Что такое дисперсия среднего времени безотказной работы?
12. Каким аналитическим выражением определяется интенсивность отказов?
13. Приведите экспоненциальный закон надежности.
14. Приведите законы распределения случайных величин используемые для оценки надежности РЭА.
15. Приведите графически закон распределения Пуассона и биномиальный закон распределения.
16. Приведите графически экспоненциальный и усеченный нормальный закон распределения.
17. Приведите графически закон распределения Вейбула и логарифмический нормальный закон распределения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ФОРМАТЫ СОВРЕМЕННЫХ БЫТОВЫХ ВМ.

В табл. 3 приведены основные конструктивные характеристики современных форматов наклонно-строчной видеозаписи.

Обращает на себя внимание использование целых значений коэффициента k в форматах Betamax и 8 мм-VIDEO, что реализуется введением углового (или временного) сдвига одной ВГ относительно другой. Следовательно, эти системы работают с частичной корреляцией по сигналам цветности, что обусловило некоторое увеличение азимутальных углов.

Еще больше они увеличены в формате V-2000 из-за наименьшей ширины строчной записи и, следовательно, относительно больших сигналов помех, воспроизводимых от соседних строчек. Эта система характеризуется и наименьшим значением угла α , что в совокупности с предыдущим делает ее наиболее сложно реализуемой с точки зрения взаимозаменяемости записей.

Особенностью бытовых ВМ формата V-2000 является использование в них переворачивающейся кассеты с вдвое меньшей шириной поля видеозаписи в каждом направлении. Это позволило увеличить длительность проигрывания одной кассеты до 8 ч, но потребовало разработки и применения в таких ВМ сложной системы автотрекинга, поддерживающей ВГ на строчках записи в режиме воспроизведения. В целом эти ВМ оказались дорогими в производстве и эксплуатации и широкого распространения не получили.

Из табл. 1 следует также, что скорость записи V у системы 8 мм-STEREO, разработанной с перспективой перехода любительской киносъемки на магнитную видеозапись, значительно меньше чем у остальных систем. Поэтому здесь предполагается использование магнитной ленты с металлическим рабочим слоем, которая характеризуется наилучшей разрешающей способностью по сравнению с магнитными лентами других типов.

Таблица П1.1 Характеристики форматов наклонно-строчной видеозаписи

Параметр	Система видеозаписи (50 Гц, 625 строк PAL, SECAM)			
	VHS, Matsushita (Япония)	V-2000, Philips, Grundig (ФРГ)	Betamax, Sony, (Япония)	8мм-VIDEO
Скорость ленты, мм/с	1,5	1,5	1	2
Скорость записи, м/с	23,39	24,42	18,73	20,05
Диаметр БВГ, мм	4,85	5,08	5,83	3,14
О	62	65	74,487	40
Номинальная ширина строчной записи, мкм	5°56'7,4"	2°38'0,5"	5°	° 53'7,6"
Азимутальный угол, град.	±6	±15	±7	±10
	10,6	2X4,85	10,6	5,6

Продолжение табл. П1.1

Номинальная ширина строчной записи, мкм	5°56'7,4"	2°38'0.5"	5°	4° 53'7,6"
Азимутальный угол, град.	49 ±6	22,6 ±15	32,8 ±7	34,4 ±10
Ширина поля видеозаписи, мм	10,6	2X4,85	10,6	5,6
Эффективная ширина поля видеозаписи, мм	10,07	2X4,69	10,2	5,35
Плотность записи, бит/мм ²	4*10 ⁴	8,4*10 ⁴	5,4*10 ⁴	9*10 ⁴
Расход магнитной ленты, м ² /ч	1,07	0,56	0,85	0,58
Размер кассеты, мм	188X104X2	183X110,5X26	155X94X25	95X62,5X14

БЫТОВЫЕ ВМ ФОРМАТА VHS

На рис.П1.1 показана сигналограмма формата VHS, по которому в настоящее время работает более 80% мирового выпуск бытовых ВМ Этот формат реализован в отечественном видеомагнитофоне «Электроника ВМ-12». Основные параметры сигналограммы следующие:

Ширина ленты А, мм 12,65±0,01
 Скорость ленты, Vл, мм/с 23,39±0,5%
 Диаметр БВГ D, мм 62 Скорость записи, м/с 4,85 Ширина строчки записи l, мм 0,049 Шаг строчек записи, мм 0,049 Ширина поля видеозаписи B, мм 106
 Эффективная ширина поля видеозаписи (соответствует повороту ВГ на 180°) w, мм 10,07
 Расстояние между базовым краем магнитной ленты и серединой поля видеозаписи H мм 6,2
 Ширина дорожки управления с мм 0,75 Ширина поля стереозвукозаписи R мм 1,0 Ширина дорожки звука L, мм 0,35
 Расстояние между дорожками звука, мм 0,3 Расстояние между базовым краем магнитной ленты и полем звукозаписи F, мм 11,65
 Угол отклонения винтовой направляющей на поверхности цилиндра БВГ от перпендикуляра к его образующей Oo 5°56'7,4
 Угол между базовым краем магнитной ленты и строчками записи O 5°57'50
 Азимутальный угол разворота рабочих зазоров ВГ 6° ± 1
 Расстояние между концов строчки записи и положением соответствующего ей

импульса управления х, мм _____ 79,244

Расстояние между нижним краем зоны w и местом записи переднего фронта КСИ
_____ 5... 8 строк Натяжение магнитной ленты. Н
_____ 0,35...0,45

Стандартизованы также следующие постоянные времени цепей предискажений и коррекции в каналах изображения и нормальной звукозаписи:

Постоянная времени пепя предискажений в канале изображения Т при уровне насыщения +15 дБ.мкс _____ 1,3

Постоянная времени цепи коррекции в канале воспроизведения звукозаписи Т, мкс
_____ 120

Постоянная времени предискажений и коррекции в канале записи — воспроизведения звукового сопровождения Т:, мкс _____ 3180

Видеомагнитофоны формата VHS комплектуются кассетой, размеры которой (1 X 104 X 25 мм) позволяют разместить в ней две катушки диаметром 89 мм, вмещающих при длительности проигрывания 180 мин 260 м магнитной ленты Диаметр внутренней бобышки при этом равен 26 мм. Для кассет с продолжительностью проигрывания менее 90 мин. диаметр этой бобышки увеличен до 62 мм, что уменьшает диапазон изменения натяжения ленты и при использовании ЛПМ с пассивными подкассетными узлами благоприятно сказывается на качестве изображения.

Бытовые ВМ формата VHS, использующие высококачественные магнитные головки и ленты, обеспечивают следующие характеристики записи — воспроизведения телевизионных сигналов:

Разрешение по горизонтали, линий:

для черно-белых изображений 300

для цветных изображений 240

Отношение сигнал-шум канала записи — воспроизведения по сигналам яркости цветности, дБ 43

Частотная характеристика канала нормальной звукозаписи- воспроизведения, Гц..... 50... 12000

Отношение сигнал — шум канала нормальной звукозаписи — воспроизведения с системой ДОЛБИ, дБ 48

Стандартизованные уровни входных и выходных сигналов следующие:

размах входных и выходных видеосигналов, В, на нагрузке 75 Ом 1

уровень входного и выходного сигналов звукового сопровождения, Вэф, 0,2 Размеры видеомагнитофона ВМ-12 480 X 365 X 136 мм; масса - 10кг,

потребляемая от сети 220 В мощность — не более 40 Вт.

Рассмотренными особенностями далеко не исчерпывается весь перечень вопросов связанных с устройством современных бытовых ВМ. Они относятся к сравнительно молодой и бурно развивавшейся области бытовой радиоэлектроники, где следует ожидать новых достижений, особенно в плане улучшения эксплуатационных показателей. Многие бытовые ВМ уже сейчас оснащаются беспроводными системам» дистанционного управления, обеспечивают работу с бытовой телевизионной таймерно заданной программе. Расширяются функции таймерного дисплея как информационного устройства. Разработаны системы программного воспроизведения видеозаписи в нормальном, ускоренном, замедленном и циклическом режимах. Не прекращаются работы по дальнейшему повышению плотности магнитной видеозаписи и миниатюризации бытовых ВМ.

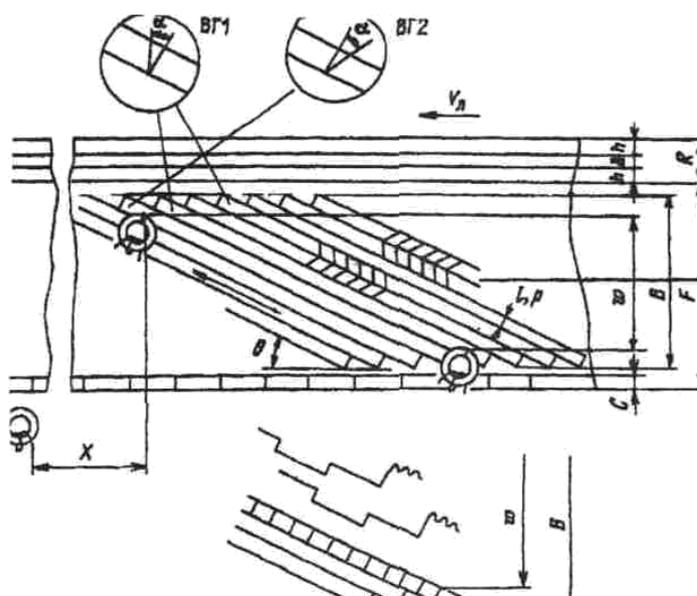


Рис.12 Сигналограмма формата VHS

Дальнейшее развитие бытовой видеотехники предполагает постоянное увеличение требований к точности воспроизведения записанной информации. В самых совершенных устройствах точной магнитной видеозаписи требуется, чтобы в течение длительного времени отклонение скорости от заданного значения не превышало 0,01%. Причем особое внимание обращается на точность вращения в пределах одного оборота. Последнее предъявляет повышенные требования к аппаратуре задания требуемого значения скорости и способам измерения ее текущей величины.

Таблица П1.2 Значения безотказной работы P(t) в зависимости от квантили U_p

Квантиль	Вероятность безотказной работы	Квантиль	Вероятность безотказной работы	Квантиль	Вероятность безотказной работы
0,000	0,5000	-1,1	0,8643	-2,326	0,9900
-0,1	0,5398	-1,2	0,8849	-2,4	0,9918
-0,126	0,5500	-1,282	0,9000	-2,409	0,9920
-0,2	0,5793	-1,3	0,9032	-2,5	0,9938
-0,253	0,6000	-1,4	0,9192	-2,576	0,9950
-0,3	0,6179	-1,5	0,9332	-2,6	0,9953
-0,385	0,6500	-1,6	0,9452	-2,652	0,9960
-0,4	0,6554	-1,645	0,9500	-2,7	0,9965
-0,5	0,6915	-1,7	0,9554	-2,748	0,9970
-0,524	0,7000	-1,751	0,9600	-2,8	0,9974
-0,6	0,7257	-1,8	0,9641	-2,878	0,9980
-0,674	0,7500	-1,881	0,9700	-2,9	0,9981
-0,7	0,7580	-2,0	0,9772	-3,0	0,9986
-0,8	0,7881	-2,054	0,9800	-2,090	0,9990
-0,842	0,8000	-2,1	0,9821	-3,291	0,9995
Продолжение табл. П1.2					
-0,9	0,8159	-2,170	0,9850	-3,5	0,9998
-1,0	0,8413	-2,2	0,9861	-3,719	0,9999
-1,036	0,8500	-2,3	0,9893		

Таблица 1.3 Значения безотказной работы $P(t)$ в зависимости от квантили U_p

Квантиль	Вероятность безотказной работы	Квантиль	Вероятность безотказной работы	Квантиль	Вероятность безотказной работы
0,000	0,5000	-1,1	0,8643	-2,326	0,9900
-0,1	0,5398	-1,2	0,8849	-2,4	0,9918
-0,126	0,5500	-1,282	0,9000	-2,409	0,9920
-0,2	0,5793	-1,3	0,9032	-2,5	0,9938
-0,253	0,6000	-1,4	0,9192	-2,576	0,9950
-0,3	0,6179	-1,5	0,9332	-2,6	0,9953
-0,385	0,6500	-1,6	0,9452	-2,652	0,9960
-0,4	0,6554	-1,645	0,9500	-2,7	0,9965
-0,5	0,6915	-1,7	0,9554	-2,748	0,9970
-0,524	0,7000	-1,751	0,9600	-2,8	0,9974
-0,6	0,7257	-1,8	0,9641	-2,878	0,9980
-0,674	0,7500	-1,881	0,9700	-2,9	0,9981
-0,7	0,7580	-2,0	0,9772	-3,0	0,9986
-0,8	0,7881	-2,054	0,9800	-2,090	0,9990
-0,842	0,8000	-2,1	0,9821	-3,291	0,9995
-0,9	0,8159	-2,170	0,9850	-3,5	0,9998
-1,0	0,8413	-2,2	0,9861	-3,719	0,9999
-1,036	0,8500	-2,3	0,9893		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕР ПО ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ЛЕНТОПРОТЯЖНОГО МЕХАНИЗМА ВИДЕОМАГНИТОФОНА.

Лентопротяжный механизм (ЛПМ) видеомагнитофона (ВМ) имеет нормальное распределение наработки с параметрами $M=3000$ ч и $\sigma^2=9 \cdot 10^4$ ч². Определить в течение какого интервала времени $(0, t_x)$ вероятность безотказной работы $p(t)$ будет не менее 0,95
Решение : по таблице 1 находим выражение для $p(t)$:

$$p(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{M} e^{-\frac{(t-x)^2}{2\sigma^2}} dx$$

σ

Поскольку область возможных значений наработки лежит в интервале $[0, \infty)$, коэффициент C для данного случая примет вид:

$$C = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}$$

300

Тогда для $p(t)$ запишем

$$p(t) = 0,95 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{M} e^{-\frac{(t-x)^2}{2\sigma^2}} dx$$

$$\Phi\left(\frac{t - 3000}{300}\right) = 0,45$$

По таблицам находим значение аргумента, при котором интеграл вероятности равен 0,45:

Значение критерия χ^2
степеней свободы K

Пирсона при различных условиях значимости E и числах

K	E			
	0,1	0,05	0,01	0,001
1	2,7	3,8	6,6	10,83
2	4,6	5,9	9,2	13,8
3	6,3	7,8	11,3	16,3
4	7,8	9,5	13,3	18,5
5	9,2	11,1	15,1	20,5
6	10,6	12,6	16,8	22,5
7	12,0	14,1	18,5	24,3
8	13,4	15,5	20,1	26,1
9	14,7	16,9	21,7	27,9
10	16,0	18,3	23,2	29,6

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

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.

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 $t=10^5$ ч.

9. РТС состоит из 2-х блоков. Число ИМС в блоках $n_1=80$; $n_2=105$, в течение $t=2 \cdot 10^4$ 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 $t=10^4$ 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 $T_{ср}$. 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 $T_{ср}$, если закон распределения отказов экспоненциальный.

15. Система состоит из 13100 элементов, средняя интенсивность отказов которых $\lambda_{ср}=0,39 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы в течение $t=72$ ч.

16. Используя данные задачи 15 вычислить среднюю наработку до первого отказа.

17. РЭС состоит из 14500 элементов, со средней интенсивностью отказов $\lambda_{ср}=1,4 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Какова вероятность безотказной работы в течение $t=48$ ч.

18. Используя данные задачи 17 вычислить среднюю наработку до первого отказа.

19. Система состоит из $N=6$ ИМС, вероятност 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: $T_1=160$ ч, $T_2=220$ ч. Определить среднюю наработку до первого отказа системы, при экспоненциальном законе распределения случайной величины

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глудкин О.П. Методы и устройства испытания РЭС и ЭВС [Текст]/ О.П. Глудкин – М.: Высш. школа., 2001 – 335 с
2. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование[Текст]/ под ред. А.И.Коробова. Радио и связь, 2002 – 272 с.
3. Испытание аппаратуры и средства измерений на воздействие внешних факторов [Текст]: В.Д. Млицкий , В.Х. Беглария , Л.Г. Дубицкий М.: Машиностроение, 2003 – 567 с
4. Малинский В. Д. Контроль и испытания радиоаппаратуры [Текст]: В.Д. Малинский М.: Энергия, 1970. 336 с.
5. Заездный. А.М. Основы расчетов по статической радиотехнике [Текст]: А.М. Заездный. – М.: Связь, 1969. – 447 с.
6. Испытательная техника [Текст]/ под ред. В. В. Клюева.- М.: Машиностроение, 1982. Кн. 1.- 528 с.
7. Кейзман В. Б. Оценка и обеспечение надежности радиоэлектронной аппаратуры [Текст]: учеб. пособие/ В.Б. Кейзман – Воронеж: ВПИ, 1987 – 82 с.
8. Ефремов Г.С. Испытание РЭА на надежность. Планирование и оценка показателей [Текст]: Г.С. Ефремов , Б.Д. Забегалов - Горький, 1974,- 44с.
9. Бродский М.А. Аудио-и видеоманитофоны [Текст] / М.А. Бродский .-Мн., 1995,-476с.
10. Надежность технических систем: Справочник [Текст]/ под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа №5.....	3
2. Лабораторная работа №6.....	7
3. Приложение 1.....	22
4. Приложение 2.....	27
5. Приложение 3.....	29
6. Библиографический список.....	30

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
НАДЕЖНОСТИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Теория точности в разработке конструкций и технологий»
для студентов направления 11.03.03 «Конструирования и
технология электронных средств»
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм
обучения

Составители:

доктор. техн. наук А. В. Башкиров,
канд. техн. наук И.С. Бобылкин.

Компьютерный набор И.С. Бобылкин.

Подписано к изданию _____.
Уч.-изд. л. _____.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14