

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

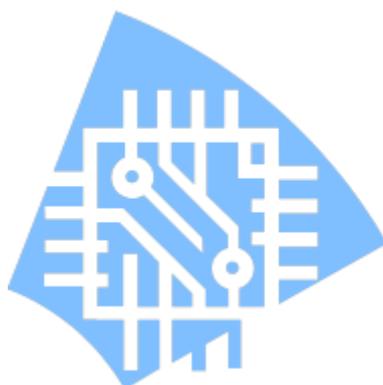
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭС,
РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

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 показания надежности эс, расчет надежности сложной системы: 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. 51 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 LR3TTI.doc.
Таб. 7 Ил. 8. 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 №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭС

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: целью работы является ознакомление с методикой подбора закона распределения ресурса, приобретение практических навыков в определении параметров закона распределения и расчете показателей надежности элементов.

1. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Для выполнения работы необходимо изучить теоретический материал, лекционные и приведенные ниже материалы.

Существующее рассеивание основных параметров надежности элементов определяет необходимость рассматривать их численные значения в вероятностном аспекте. Характеристикой надежности элемента является закон распределения их ресурсов. Если известен вид закона и его параметры, то легко можно определить интересующую нас характеристику надежности.

Наиболее распространенными законами распределения ресурсов элементов являются экспоненциальный и нормальный. Поэтому при определении закона распределения рекомендуется аппроксимировать экспериментальные характеристики ресурсов в первую очередь этими законами.

Экспоненциальное распределение характерно для внезапных отказов элементов. Эти отказы вызываются неблагоприятным стечением некоторых обстоятельств и поэтому имеют постоянную интенсивность во времени t :

$$\lambda t \quad \lambda = \frac{1}{T_p} \text{ const}, \quad (1.1)$$

где T_p - средний ресурс.

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (1.2)$$

где T_{p_i} - ресурс i однотипного элемента; n - количество однотипных элементов.

Функция плотности вероятности при экспоненциальном законе распределения задается уравнением:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (1.3)$$

а вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \exp \int_0^t -\lambda dt = e^{-\lambda t} \quad (1.4)$$

Установленный ресурс $T_{пу}$ элемента при экспоненциальном законе распределения и доверительной вероятности $=0,95$:

$$T_{пу} = \frac{0,05}{\lambda} = 0,05 T_p \quad (1.5)$$

Нормальный закон распределения достаточно хорошо описывает распределение ресурсов элементов при постепенных (износных) отказах. Плотность вероятности нормального распределения описывается уравнением:

$$f(t) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t - T_p}{2S^2}} \quad (1.6)$$

где средний ресурс T_p определяется по выражению (2), а среднее квадратическое отклонение S по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n T_{pi}^2 - n T_p^2}{n - 1}} \quad (1.7)$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ для нормального закона распределения определяется из выражения:

$$P(t) = \Phi\left(\frac{t - T_p}{S}\right) \quad (1.8)$$

где Φ - функция Лапласа;

U_p - квантиль нормального распределения.

Установленный ресурс элемента T_{py} при нормальном законе распределения и доверительной вероятности $\alpha = 0,95$:

$$T_{py} = T_p + 1,645 S \quad (1.9)$$

Проверка допустимости принятого закона распределения ресурсов элемента осуществляется по критерию согласия. Наиболее употребительным критерием является критерий χ^2 Пирсона.

Расчетное значение критерия Пирсона определяется по формуле:

$$\chi_p^2 = \sum_{j=1}^k \frac{m_j - n p_j}{n p_j} \quad (1.10)$$

где m_j - количество значений ресурса, попавших в j интервал;

p_j - вероятность попадания значений ресурса в j интервал;

n - общее число значений ресурса.

Полученное расчетное значение χ_p^2 сопоставляют с табличным $\chi_{\alpha, K}^2$ (приложение Б), определяемом по числу степеней свободы K , и уровням значимости α .

Если $\chi_p^2 < \chi_{\alpha, K}^2$, то гипотеза о принятом законе распределения ресурсов верна. В противном случае следует принимать гипотезу о другом законе распределения и выполнить необходимые расчеты.

Определение закона распределения ресурса и расчет показателей надежности элемента может быть выполнен на ЭВМ по программе, блок-схема которой представлена на рис.1. В блок 1 с клавиатуры вводятся численные значения ресурса однотипного элемента и число интервалов, на которые разбивается гистограмма в блоке 2. По виду гис-

тограммы можно предварительно оценить вид закона распределения. По исходным данным в блоках 3, 4 рассчитываются такие показатели, как средние и установленные ресурсы, критерий χ^2_p Пирсона для каждого закона распределения соответственно. Кроме того, в блоке 3 рассчитывается интенсивность отказов для экспоненциального закона, в блоке 4 - среднеквадратическое отклонение ресурса для нормального закона.

Вывод данных расчета по каждому закону обеспечивается блоками 5, 6, после чего в блоке 7 выбирается теоретически закон распределения по критерию χ^2_p и на дисплей выводится название рекомендуемого закона (блок 8).

2. ПОРЯДОК И ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В соответствии с вариантом индивидуального задания (таблица1) выбирает исходные данные в виде ряда численных значений ресурсов однотипных элементов в порядке возрастания ресурса: $T_p = 80, 140, 180, 220, 260, 290, 320, 380, 460, 520, 700, 900$.

Задаёт число интервалов ($K=5$) и величину интервала ($W=200$ час)

Определяет границы интервалов, средние значения ресурса на интервале и количество значений ресурсов, попавшие в каждый интервал. Результаты представляют в табличной форме. Для нашего случая составлена табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные для определения закона распределения ресурсов и показателей надежности элемента машин

Вариант	Значения ресурсов однотипных элементов											
1	120	180	200	260	290	340	410	490	530	610	650	690
2	50	100	140	190	280	370	450	510	630	770	860	900
3	800	880	960	1050	1090	1130	1280	1390	1520	1740	1840	2000
4	400	570	690	850	970	1140	1250	1380	1410	1520	1530	1600
5	1030	1080	1170	1240	1270	1420	1610	1720	1810	1900	1980	2000
6	250	380	490	560	680	800	880	930	1000	1250	1500	1600
7	500	510	580	600	650	700	740	780	820	840	860	900
8	200	240	300	320	380	400	480	590	710	880	920	980
9	600	680	750	810	900	980	1100	1180	1250	1340	1410	1500
10	100	170	280	430	600	700	820	900	950	1100	1200	1350
11	20	40	80	150	190	210	280	360	480	550	600	700
12	300	380	410	500	570	620	700	750	810	880	920	1000
13	300	380	410	500	570	620	700	750	810	880	920	1000
14	200	220	280	300	380	450	500	600	750	800	880	950
15	500	570	630	710	760	840	910	1000	1080	1150	1200	1300

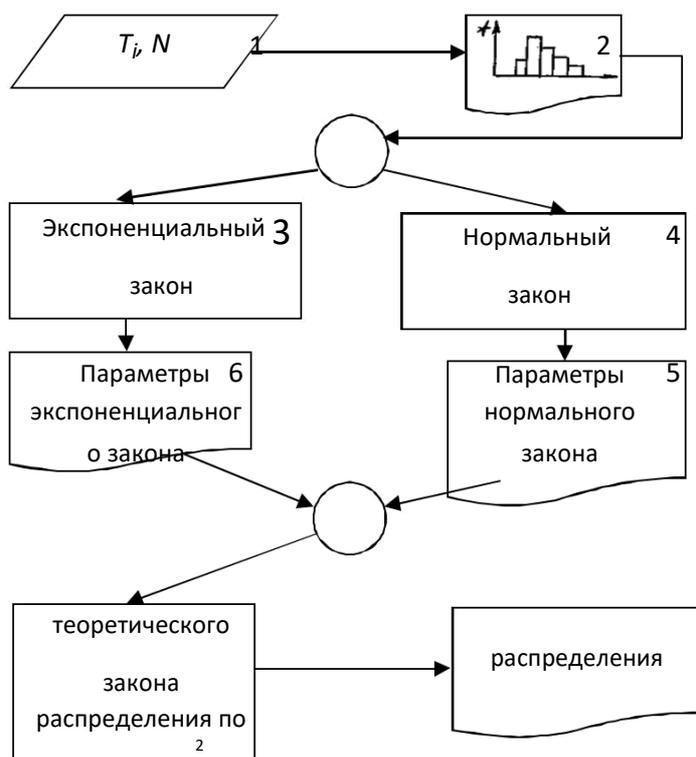


Рис.1. Алгоритм выбора теоретического закона распределения

Таблица 2

Результаты

№ интервала	Границы интервала	средние значения на интервале	Количество значений m_j
1	0 - 200	100	3
2	200 - 400	300	5
3	400 - 600	500	2
4	600 - 800	700	1
5	800 - 1000	900	1

По числу значений ресурсов, попавших в каждый j интервал, можно предварительно оценить вид закона распределения и выполнить проверку в первую очередь именно по этому закону.

Например, проверка гипотезу о экспоненциальное законе распределения ресурсов выполняется в следующей последовательности.

Средний ресурс (18):

$$T_p = (80 + 140 + \dots + 900) / 12 = 370,83 \quad (1.11)$$

Интенсивность отказов (17):

$$= 1/T_p = 1/370,83 = 2,696 \cdot 10^{-3}.$$

Теоретическая вероятность p_j (20) попадания в каждый из 5 интервалов:

$$1) P_1 = \exp(0) - \exp(-200) = 1 - 0,583 = 0,417 \quad 2) P_2 = \exp(-200) - \exp(-400) = 0,583 - 0,340 = 0,243 \quad (1.12)$$

$$3) P_3 = \exp(-400) - \exp(-600) = 0,340 - 0,198 = 0,142$$

$$4) P_2 = \exp(-600) - \exp(-800) = 0,198 - 0,116 = 0,082$$

$$5) P_2 = \exp(-800) - \exp(-1000) = 0,116 - 0,067 = 0,049$$

Для рассматриваемого в примере случая расчетное значение критерия Пирсона:

$$\chi_p^2 = \frac{3 \cdot 120,417^2}{120,417} + \frac{5 \cdot 120,243^2}{120,243} + \frac{2 \cdot 120,142^2}{120,142} + \frac{1 \cdot 120,082^2}{120,082} + \frac{1 \cdot 120,049^2}{120,049} = 2,63 \quad (1.13)$$

Поскольку $\chi_p^2 = 2,63$ меньше $\chi_{\tau}^2 = 26,2$, определенном при числе степеней свободы $K = 12$ и уровне значимости $E = 0,01$, гипотеза о экспоненциальном законе распределения получает подтверждение. В ином случае принимаем гипотезы о нормальном распределении.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ в зависимости от закона распределения определяется из соотношений (20), (24). При этом значения наработок t задаются произвольно с некоторым шагом.

Результаты расчетов представляет в виде графиков зависимостей $P(t)$ (рисунок 2 а, б).

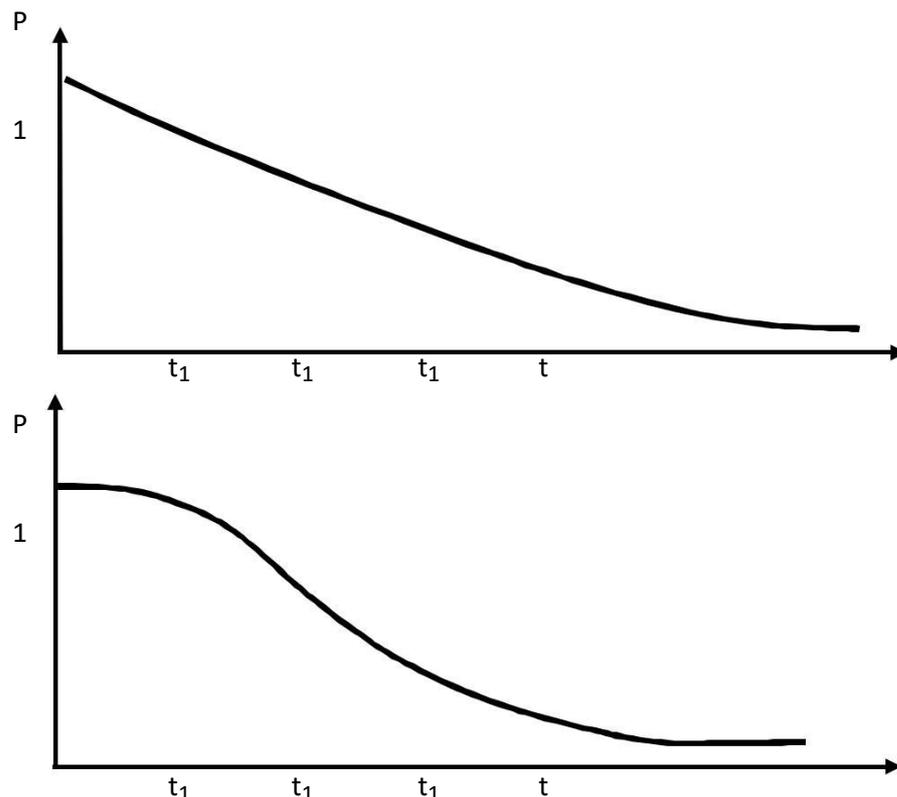


Рис.2. Изменение вероятности безотказной работы P от наработки t : а - экспоненциальное распределение; б - нормальное распределение

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Название и цель работы.
- 2) Порядок определения закона распределения ресурса и расчета показателей надежности элемента.
- 3) Установленный по индивидуальному заданию закон распределения ресурса и расчет показателей надежности элемента. График зависимости $P = f(t)$.
- 4) Определение закона распределения ресурса на ЭВМ сравнение получение результатов.

Контрольные вопросы

- 1) Что понимается под элементом сложной системы?
- 2) Какие законы распределения ресурса Вы знаете?
- 3) Сформулируйте понятие среднего ресурса, установленного ресурса, вероятности безотказной работы.

Лабораторная работа №2

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: Освоение методики и приобретение практических навыков в расчетах схемной надёжности сложной системы с последовательно-параллельным соединением элементов по данным о законах и параметрах распределения ресурса отдельных элементов.

1. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Для выполнения работы необходимо изучить теоретический материал [1], лекционный и приведенный ниже материалы;

- методы повышения надёжности, резервирование [1, 3, 4].

Задача расчёта надёжности сложной системы решается, исходя из следующих предпосылок: система состоит из элементов, различно соединённых, последовательно или параллельно. Известны законы распределения ресурса и его параметры для каждого элемента (табл. 3). Структурные схемы сложной системы заданы в виде структурной формулы (табл. 4).

Вероятность безотказной работы группы элементов с последовательным соединением элементов:

$$P_{\text{сист}}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) \quad (2.1)$$

Вероятность безотказной работы группы элементов с параллельным соединением

$$P_i^{\Gamma}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (2.2)$$

Выполнять расчёт надёжности сложной системы необходимо в следующей последовательности:

- 1) В соответствии с вариантом индивидуального задания по структурной формуле построить структурную схему системы;
- 2) По заданным параметрам законов распределения определить вероятность безотказной работы $P_i(t)$ для каждого i элемента системы;
- 3) Определить вероятность безотказной работы $P_i^{\Gamma}(t)$ группы элементов;
- 4) Рассчитать вероятность безотказной работы $P_{\text{сист}}(t)$ системы элементов как произведение вероятностей безотказной работы последовательно соединённых элементов и групп элементов;
- 5) Определить метод повышения надёжности системы.

Таблица 3

Исходные данные для расчёта надёжности

№ элемента	Закон распределения	Тр	S	a	b
1	Э	800	-	-	-
2	Н	1200	400	-	-
3	В	-	-	700	2,5
4	Э	400	-	-	-
5	В	-	-	500	1,5
6	Н	1000	350	-	-
7	Н	2000	400	-	-

Продолжение табл. 3

8	Э	1100	-	-	-
9	В	-	-	680	2,0
10	Э	700	-	-	-
11	Н	1200	300	-	-
12	В	-	-	300	1,5
13	Э	440	-	-	-
14	Э	500	-	-	-
15	Н	600	200	-	-
16	В	-	-	550	1,5
17	Э	750	-	-	-
18	Н	1400	350	-	-
19	В	-	-	1000	3,0
20	Н	1500	440	-	-
21	В	-	-	800	2,0
22	Э	600	-	-	-
23	Э	850	-	-	-
24	Н	1800	200	-	-
25	В	-	-	780	1,8
26	В	-	-	640	2,0
27	Н	1700	400	-	-
28	Э	900	-	-	-
29	Э	650	-	-	-
30	Н	900	200	-	-
31	Н	1100	2500	-	-
32	В	-	-	550	2,0
33	Э	950	-	-	-
34	Н	800	240	-	-
35	В	-	-	750	1,7
36	Э	1000	-	-	-
37	Н	2200	350	-	-
38	Н	2000	300	-	-
39	В	-	-	400	1,6
40	Э	540	-	-	-
Примечание: Тр - средний ресурс, S - среднее квадратическое отклонение, а - параметр масштаба, b - параметр формы, Э - экспоненциальный закон распределения, Н - нормальный закон распределения, В - закон Вейбулла.					

Таблица 4

Структурные формулы соединения элементов

Варианты задания	Структурные формулы соединения элементов
1	1-(6-16)/(6-16)-23-30/30-9-10
2	2-12/12/12-15-(29-40)-(29-40)-14-37
3	3-13/13-37/37-11-(22-10)/(22-10)-5
4	4-(9-15)/(9-15)-20-36/36/36-13-2
5	5-7/7/7-17-38/38-33-12-23/23-1
6	8-(14-24)/(14-24)-26-31/31-9-5
7	10-18/18-19-33/33/33-27-29-3
8	13-(21-28)/(21-28)-34-38/38/38-4

9	25-13/13-7-(15-29)/(15-29)7-40
10	12-11/11/11-33-(15-28)/(15-28)-14-5
11	17-(26-30)/(26-30)-14-38/38/38-9
12	15-29/29-3-6/6-14-(17-7)/(17-7)
13	29-26/26/26-2-16/16-33-10/10/10
14	14-(20-12)/(20-12)-33-37/37-8-40
15	40-21/21-38-29/29/29-6-(14-2)/(14-2)
16	9-(18-15)/(18-15)-17-10/10/10-15
17	31-(9-23)/(9-23)-31-8/8/8-12-5
18	36-26/26/26-11-21/21-2-13/13-1
19	7-(24-12)/(24-12)-25-17/17/17-10-39
20	26-1/1/1-14-5/5-37-6-17/17
21	20-40/40-8-(16-27)/(16-27)-10-2
22	30-(13-26)/(13-26)-15-7/7/7-8-10
23	24-12/12/12-4-(33-18)/(33-18)-3
24	11-29/29-12-33/33/33-15-26
25	9-(7-35)/(7-35)-20-33/33-8

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Название и цель работы.
- 2) Структурная схема системы в соответствии с индивидуальным заданием.
- 3) Расчет вероятности безотказной работы каждого элемента, группы элементов и всей системы.
- 4) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1) Сформулируйте понятия модели безотказности сложной системы.
- 2) Дайте определение вероятности безотказной работы.
- 3) Какие показатели безотказности Вы знаете?
- 4) Сформулируйте предложения по повышению надежности рассмотренной в работе системе.

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Цель работы: целью работы является освоение методики и приобретение практических навыков в расчете схемной надежности сложного изделия с параллельно-последовательным соединением элементов, повышении надежности изделия путем резервирования элементов с оценкой эффективности резервирования.

1. Указания по выполнению работы

Для выполнения работы необходимо изучить теоретический материал [1, стр.93-100; 5, стр. 63-71] и приведенные выше материалы.

Определение надежности сложной системы выполняется в следующей последовательности.

1) В соответствии с вариантом индивидуального задания по таблицам 8 и 9 определить исходные данные для расчета - структурную формулу системы, среднюю наработку на отказ T_i и математическое ожидание времени ремонта M_i ($\mu_{рем}$) для каждого i элемента системы, закон распределения вероятности безотказной работы принять экспоненциальным $P t e^{-\lambda t}$, заданный период времени эксплуатации принять постоянным $t = 8$ час.

2) По структурной формуле построить структурную схему системы с параллельно-последовательным соединением элементов.

3) По известным из условия значениям наработки на отказ T_i и периоду эксплуатации t рассчитать интенсивность отказов $\lambda = T_i^{-1}$ и вероятность безотказной работы $P_i(t)$ для каждого i элемента системы.

4) Определить вероятность безотказной работы $P_i^r(t)$ групп элементов с постоянным резервированием.

5) Рассчитать вероятность безотказной работы $P(t)$ системы элементов как произведение вероятностей безотказной работы последовательно соединенных элементов и групп элементов.

6) Выявить элемент, лимитирующий надежность системы.

7) Рассчитать вероятность безотказной работы $P(t)$ системы элементов при постоянном (нагруженном) резервировании ненадежного элемента.

8) Рассчитать вероятность безотказной работы $P(t)$ системы элементов при ненагруженном резервировании ненадежного элемента.

9) Сопоставить полученные результаты расчета и сформулировать выводы по работе.

Расчет может быть выполнен по программе, блок-схема которой представлена на рис. 3. В блок 1 с клавиатуры вводится формула структурной схемы S_i (исходные данные по варианту табл.1) и период времени эксплуатации t . В этом же блоке находится массив данных, дублирующих табл. 2, из которого извлекаются данные о средней наработке на отказ T_i и математическое ожидание времени ремонта M_i для каждого элемента структурной формулы.

В блоке 2 по средней наработке на отказ рассчитывается интенсивность отказов для каждого элемента системы, блок 3 вычисляет вероятность безотказной работы за время эксплуатации $t = 8$ час. После этого рассчитывается вероятность безотказной работы групп элементов с постоянным резервированием (блок 4) и всей системы (блок 5). Процесс вычисления итеративный, при этом число итераций равно числу элементов i системы (блок 6); условием окончания является перебор всех элементов (блок 7).

В блоке 8 запрашивается номер резервируемого элемента с наименьшей вероятностью безотказной работы и далее вычисляются вероятности безотказной работы системы при постоянном (ненагруженном) резервировании (блок 9) и дублировании с восстановлением (блок 10). Вывод результатов расчета осуществляется блоком 11.

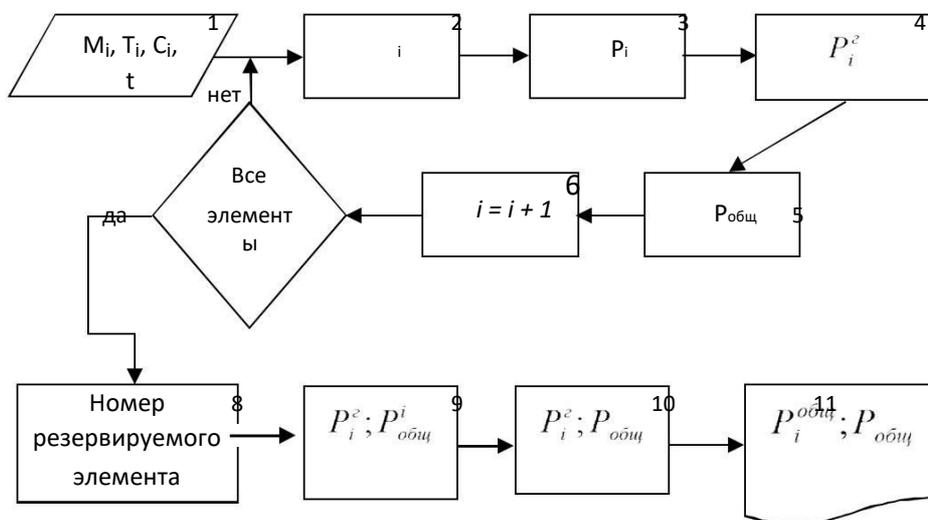


Рис.3. Схема алгоритма расчета надежности сложных систем

2. Пример определения надежности сложной системы

Варианты индивидуальных заданий включают структурные формулы сложных систем (табл. 5) и данные по средней наработке на отказ T_i и среднему времени восстановления работоспособности M_i ($\mu_{рем}$) элементов систем при ремонте (табл. 6).

Предположим, формула структурной схемы системы:

$$19/19/19-14-38/38-59-44-60. \quad (3.1)$$

Средняя наработка элементов на отказ T_i , час:

$$T_{19} = 16; T_{14} = 21; T_{38} = 72; T_{59} = 220; T_{44} = 450; T_{60} = 860. \quad (3.2)$$

Заданный период времени эксплуатации $t = 8$ час (во всех вариантах).

Закон распределения вероятности безотказной работы - экспоненциальный - $P_t = e^{-\lambda t}$.

Таблица 5

Формулы структурных схем для расчета надежности сложных систем

Вариант задания	Формулы структурных схем сложных систем
1	1/1/1-25-36/36-51-58-34/34
2	48-57-7/7/7-28-31/31/44
3	30/30-10/10/10-50-23/23-45-6
4	24/24-2/2/2-4-54-56-49
5	3/3-26-32/32-35/35-60-49
6	59-37/37-38/38-14/14/14-12-48

7	57-38/38-9/9/9-6-47-43
8	46-48-29/29-8-51-3/3/3
9	35/35-15/15-45-5-30-45
10	21/21-15/15/15-55-17-56-60
11	59-58-35/35-29/29-5/5/5-11
12	46-13/13/13-42-6-41/41-43
13	47-43/43-11-15/15/15-39/39-56
14	18/18-16-29/29-49-19/19/19-60
15	19/19/19-8-20/20-54-43-23/23
16	41-42-31/31-10/10/10-4-52
17	55-48-33/33-2-9/9/9-58
18	47-26/26-6/6/6-14-33/33-57
19	1-5/5/5-27/27-54-41-38/38
20	48-50/50-31/31-12/12/12-10-55

Таблица 6

Исходные данные для расчета надежности по элементам систем

Номер элемента	T_i , час	M_i , (рем), час	Номер элемента	T_i , час	M_i , (рем), час
1	18	0,2	31	65	1,0
2	24	0,3	32	75	1,1
3	23	0,4	33	85	1,2
4	17	0,5	34	62	1,3
5	19	0,6	35	54	1,4
6	22	0,7	36	58	1,5
7	26	0,8	37	96	1,6
8	30	0,9	38	72	1,7
9	28	0,8	39	78	1,8
10	29	0,7	40	110	1,9
11	34	0,6	41	300	2,0
12	32	0,4	42	600	3,1
13	19	0,5	43	400	2,2
14	21	0,3	44	450	2,3
15	27	0,2	45	550	2,4
16	36	0,3	46	500	2,5
17	33	0,4	47	850	2,6
18	19	0,5	48	620	2,7
19	16	0,6	49	580	2,8
20	18	0,7	50	540	2,9
21	40	2,0	51	330	2,0
22	45	2,1	52	280	2,1
23	48	1,2	53	580	2,2
24	52	1,3	54	470	2,3
25	50	1,4	55	420	2,4
26	100	1,5	56	670	2,5
27	90	1,6	57	720	2,6
28	80	1,7	58	760	2,7
29	70	1,8	59	220	2,8
30	60	1,9	60	860	2,9

1) По приведенной формуле строим структурную схему системы элементов (рис. 4 а).

2) По средней наработке на отказ T_i рассчитываем интенсивность отказов λ_i для каждого элемента системы:

$$\begin{aligned} \lambda_{19} &= (T_{19})^{-1} = 0.0625; & \lambda_{59} &= (T_{59})^{-1} = 0.0045; & \lambda_{14} &= (T_{14})^{-1} = 0.0476; \\ \lambda_{44} &= (T_{44})^{-1} = 0.0022; & \lambda_{38} &= (T_{38})^{-1} = 0.0139; & \lambda_{60} &= (T_{60})^{-1} = 0.0012. \end{aligned} \quad (3.3)$$

3) Рассчитываем вероятность безотказной работы $P_i(t)$ для каждого элемента системы при наработке $t = 8$ час:

$$\begin{aligned} P_{19} &= e^{-\lambda_{19} t} = e^{-0.0625 \cdot 8} = 0.6065; \\ P_{59}(8) &= 0.9646; \\ P_{14}(8) &= 0.6833; \\ P_{44}(8) &= 0.9826; \\ P_{38}(8) &= 0.8948; \\ P_{60}(8) &= 0.9904. \end{aligned} \quad (3.4)$$

4) Определяем вероятность безотказной работы $P^2(t)$ групп элементов с постоянным резервированием:

$$\begin{aligned} P_{19}^1 &= 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_{19}) = 1 - 0.0609 = 0.9391; \\ P_{38}^1 &= 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_{38}) = 1 - 0.0111 = 0.9889. \end{aligned} \quad (3.5)$$

5) Рассчитываем вероятность безотказной работы $P(t)$ системы как произведение вероятностей безотказной работы последовательно соединенных элементов и групп элементов (рис. 4 б):

$$\begin{aligned} P(8) &= P_{19}^1 \cdot P_{14} \cdot P_{38}^1 \cdot P_{59} \cdot P_{44} \cdot P_{60} = 0.9391 \cdot 0.6833 \cdot 0.9889 \cdot 0.9646 \cdot 0.9826 \cdot 0.9904 \\ &= 0.5957 \quad (3.6) \end{aligned}$$

Очевидно, что надежность системы невысока и повысить ее можно за счет дублирования элемента 14.

6) При постоянном (нагруженном) резервировании элемента 14 вторым однотипным элементом, присоединенным параллельно (рис. 4 в), вероятность безотказной работы P_{14}^2 группы элементов 14 составит:

$$P_{14}^2 = 1 - (1 - P_{14})^2 = 1 - (1 - 0.6833)^2 = 0.8997 \quad (3.7)$$

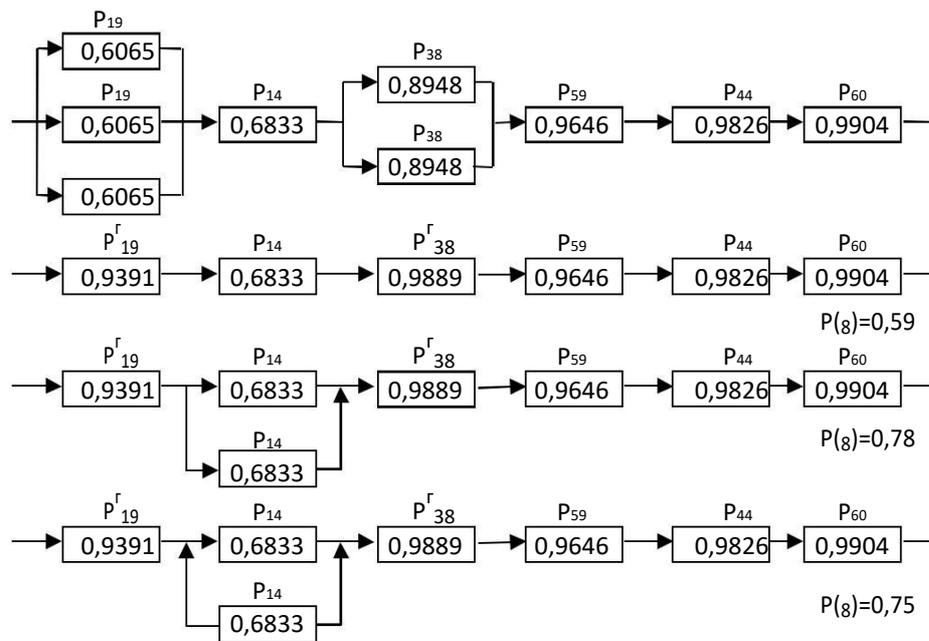


Рис.4. Пример расчета сложной системы с резервированием

7) При использовании ненагруженного резервного элемента 14 (дублирование с восстановлением) (рис.4г) вероятность безотказной работы группы элементов 14 определяется из соотношений:

$$\begin{aligned}
 & \alpha \lambda_{14} M_{14} \quad 0,04760,3 \quad 0,0143 \\
 T_0 & \frac{1}{\kappa} \frac{0,5}{14} \frac{1}{\lambda_{14} \alpha} \frac{0,5}{0,0476} \frac{56}{0,0476 \cdot 0,0143} \quad (3.8) \\
 P_{14}^r(8) & e^{-T_0} e^{-\frac{8}{56}} \quad 0,8669
 \end{aligned}$$

P(t) системы в этом случае составит 0,7556.

3. Содержание отчета

- 1) Название и цель работы.
- 2) Структурная схема системы элементов в соответствии с индивидуальным заданием.
- 3) Расчет вероятностей безотказной работы системы элементов при нагруженном и ненагруженном резервировании.
- 4) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1) Дать определение надежности и ее свойств: безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

2) Какие показатели характеризуют надежность изделия и его элементов.

3) Что понимается под сложной системой элементов и элементом системы?

Привести примеры.

4) Как построить структурную схему сложной системы с учетом особенностей отказов ее элементов?

5) Что понимается под вероятностью безотказной работы системы и элемента?

6) В чем заключается сущность постоянного и ненагруженного резервирования?

Преимущества и недостатки.

7) В каких случаях ненагруженное резервирование становится эффективным?

Лабораторная работа №4

РАСЧЕТ МОДЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: Освоение методики и приобретение практических навыков в расчете Модели безотказности сложной системы с последовательным соединением элементов и составлении дифференцированного плана ремонтно-профилактических мероприятий, уточнение комплекта запасных частей.

1. Указания по выполнению работы

Перед выполнением работы по расчету модели безотказности сложной системы необходимо изучить по материалам лекций курса «Основы теории надежности», учебной и научно-технической литературе следующие темы: безотказность как свойство надежности; показатели безотказности; модель безотказности [1, стр.13-17, 103-108].

Задача расчета модели безотказности сложной системы решается исходя из следующих предпосылок:

модель безотказности показывает характер изменения вероятности безотказной работы сложной системы машины;

система состоит из последовательно соединенных n элементов, ресурс каждого описывает один из трех законов распределения - экспоненциальный, нормальный, Вейбулла;

вероятность безотказной работы системы определяется по произведению вероятностей безотказной работы элементов (16);

в начале эксплуатации вероятность безотказной работы системы близка к 1 [$P_c(t) = 1, t = 0$], затем ее значение снижается до предельного. Отказы деревообрабатывающего оборудования обычно не приводят к ситуациям, опасным для жизни людей, поэтому нет смысла назначать высокий уровень безотказности. Обычно для механических систем технологического оборудования принимают величину $P_{c_{min}}(t) = 0,5 \dots 0,8$.

Рассмотрим последовательность расчета модели безотказности сложной системы на ЭВМ.

Принято допущение о том, что вероятность безотказной работы элементов системы определяется одним из трех законов распределения: экспоненциальным, нормальным или законом Вейбулла, параметры которых вводятся с клавиатуры при расчете модели безотказности системы для каждого элемента (блок 1, рис. 5).

При экспоненциальном законе распределения необходимо знать средний ресурс T_p , при нормальном - средний ресурс T_p и его среднеквадратическое отклонение S , при законе Вейбулла - параметры формы A и масштаба B .

Кроме того, необходимо ввести с клавиатуры число элементов в системе n ($n = 5$) и продолжительность эксплуатации в часах T ($T = 4500$ часов).

Далее рассчитывается вероятность безотказной работы каждого элемента (блок 3) при начале эксплуатации $t = 0$ (блок 2); при этом учитывается закон распределения каждого из элементов.

Так как система последовательная, но расчет ее вероятности безотказной работы $P_c(t)$ в текущее время расчета выполняется в блоке 4 по соотношению (16).

Если выполняется логическое условие (блок 5) на печать выводятся значение вероятностей безотказной работы системы и всех ее элементов (блок 7). При выполнении логического условия в блоке 6 отыскивается элемент системы с наименьшим уровнем вероятности безотказной работы и «восстанавливается», т.е. его вероятность безотказной работы повышается до 1 и вновь производится расчет надежности системы в блоке 4.

После того, как текущее время программы превысит заданную продолжительность эксплуатации (блок 8) расчет оканчивается и выводится график, на котором представлена

зависимость вероятности безотказной работы системы от времени эксплуатации с шагом квантования = 50 часов.

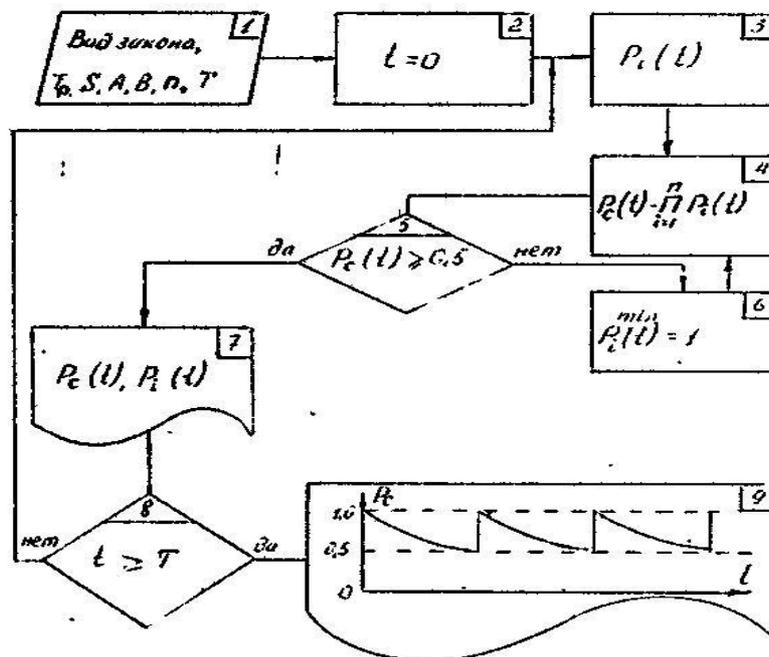


Рис.5. Алгоритм расчета модели безотказности

Порядок и пример расчета надежности сложной системы:

Исходные данные по варианту (табл. 5, 6). Формула структурной схемы системы: 3 - 17 - 22 - 28 - 40.

1) Задаемся периодом времени, на котором рассматривается надежность сложной системы;

$$0 < T < 5000 \text{ (ч.)}$$

2) Принимаем временной интервал $T = 50$ ч.

Таблица 7

Законы и параметры законов распределения вероятности безотказной работы элементов

№ элемента	Законы распределения			Параметры законов распределения			
	Экспон.	Норм.	Вейбула	T_p	S	A	B
3	Э	-	-	3000	-	-	-
17	-	Н	-	4000	1250	-	-
22	-	-	В	-	-	5000	3
28	Э	-	-	2600	-	-	-
40	-	Н	-	3500	560	-	-

3) Рассчитываем вероятность безотказной работы для элементов в порядке возрастания номера:

$$\text{№3} \quad P_3 t e^{-t/3000}; \tag{4.1}$$

$$\text{№17} \quad P_{17} t \Phi \left(\frac{4000 t}{1250} \right); \tag{4.2}$$

$$\text{№22} \quad P_{22} t e^{-t/5000} ; \quad (4.3)$$

$$\text{№28} \quad P_{28} t e^{-t/2600} ; \quad (4.4)$$

$$\text{№40} \quad P_{40} t \Phi \frac{3500 t}{560} ; \quad (4.5)$$

при $t = 0, 150, 300, \dots, 4500$

4) Результаты расчетов распечатываются в колонки 1-5 табл. 8. Рассчитываем вероятность безотказной работы сложной системы с последовательными соединениями элементов как произведение вероятностей безотказной работы отдельных элементов. Результаты расчета распечатываются в колонке «ОБЩ.ВЕР.»

5) По данным табл. 8 строим графики-функции для каждого i -го элемента и для системы $P_c(t)$.

б) Определяем элемент (элементы) лимитирующие надежность машины

Элемент №3 – ремонт при 2100 ч, 4200 ч., необходимо два запасных элемента №3 на весь срок службы;

Элемент № 17 – ремонт при 4050 ч, необходим один запасной элемент №17 на весь срок службы;

Элемент и 22 – ремонт не требуется;

Элемент № 28 – ремонт при 1950 ч, 3750 ч, необходимо два запасных элемента № 28 на весь срок службы;

Элемент № 40 – ремонт при 3600 ч, необходим один запасной элемент № 40.

Таблица 8

Пример распечатки результатов расчета модели безотказности сложной системы

1-ый элемент, закон - экспонента	$t = 3000$					
2-ый элемент, закон - нормальный	$t = 4000$	$S = 1250$				
3-ый элемент, закон - Вейбулла	$A = 5000$	$B = 3$				
4-ый элемент, закон - экспонента	$t = 2600$					
5-ый элемент, закон - Нормальный	$t = 3500$	$B = 560$				
$T_0 = 0$	ОБЩ.ВЕР. = 0,9986	1,0000	0,9986	1,0000	1,0000	1,0000
$T_0 = 150$	ОБЩ.ВЕР. = 0,8966	0,9512	0,9986	1,0000	0,9239	1,0000
$T_0 = 300$	ОБЩ.ВЕР. = 0,8012	0,9048	0,9938	1,0000	0,8718	1,0000
$T_0 = 450$	ОБЩ.ВЕР. = 0,7194	0,3507	0,9938	1,0000	0,8411	1,0000
$T_0 = 600$	ОБЩ.ВЕР. = 0,6460	0,8187	0,9938	1,0000	0,6919	1,0000
$T_0 = 750$	ОБЩ.ВЕР. = 0,5800	0,7788	0,9938	1,0000	0,7494	1,0000
$T_0 = 900$	ОБЩ.ВЕР. = 0,5185	0,7408	0,9893	1,0000	0,7074	1,0000
$T_0 = 1050$	ОБЩ.ВЕР. = 0,4655	0,7047	0,9895	1,0000	0,6677	1,0000
$T_0 = 1200$	ОБЩ.ВЕР. = 0,4149	0,6703	0,9821	1,0000	0,6303	1,0000
$T_0 = 1350$	ОБЩ.ВЕР. = 0,3725	0,6376	0,9821	1,0000	0,5950	0,9999
$T_0 = 1500$	ОБЩ.ВЕР. = 0,5504	0,6065	0,9700	1,0000	0,5616	0,9999
$T_0 = 1650$	ОБЩ.ВЕР. = 0,2945	0,5770	0,9641	1,0000	0,5301	0,9986
$T_0 = 1800$	ОБЩ.ВЕР. = 0,2620	0,5488	0,9554	0,9999	0,5004	0,9986
$T_0 = 1950$	ОБЩ.ВЕР. = 0,4631	0,5220	0,9452	0,9998	0,9446	0,9938

T0 = 2100 ОБЩ.ВЕР. = 0,8171	0,9930	0,9332	0,9996	0,8916	0,9893
T0 = 2250 ОБЩ.ВЕР. = 0,7047	0,9446	0,9032	0,9992	0,8417	0,9821
T0 = 2400 ОБЩ.ВЕР. = 0,6119	0,8983	0,8849	0,9386	0,7445	0,9700
T0 = 2550 ОБЩ.ВЕР. = 0,5224	0,8547	0,8643	0,9977	0,7499	0,9452
T0 = 2700 ОБЩ.ВЕР. = 0,4433	0,8130	0,6413	0,9961	0,7479	0,9192
T0 = 2850 ОБЩ.ВЕР. = 0,3621	0,7734	0,8159	0,9937	0,6632	0,8643
T0 = 3000 ОБЩ.ВЕР. = 0,2853	0,7357	0,7881	0,9900	0,6308	0,7881
T0 = 3150 ОБЩ.ВЕР. = 0,2160	0,6998	0,7257	0,9845	0,5954	0,7257
T0 = 5300 ОБЩ.ВЕР. = 0,1561	0,6656	0,6915	0,9765	0,6620	0,6179
T0 = 3450 ОБЩ.ВЕР. = 0,1062	0,6332	0,6554	0,9652	0,5305	0,5000
T0 = 3600 ОБЩ.ВЕР. = 0,1769	0,6023	0,6179	0,9493	0,5008	1,0000
T0 = 3750 ОБЩ.ВЕР. = 0,2910	0,5729	0,5793	0,9277	0,9452	1,0000
T0 = 3900 ОБЩ.ВЕР. = 0,2185	0,5450	0,5000	0,8986	0,8925	1,0000

2. Содержание отчета

- 1) Название и цель работы.
- 2) Структурная схема системы в соответствии с индивидуальным заданием.
- 3) Расчет вероятности безотказной работы элементов при различных значениях времени.
- 4) Распечатка таблицы значений $P(t)$
- 5) Графики $P(t)$ для каждого элемента и всей системы.
- 6) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1) Сформулируйте понятие модели безотказности сложной системы.
- 2) Дайте определение вероятности безотказной работы.
- 3) Какие показатели безотказности Вы знаете?
- 4) Сформулируйте предложения по графику ремонта.
- 5) Сформулируйте предложения по повышению надежности рассмотренной в работе системе.

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 б);

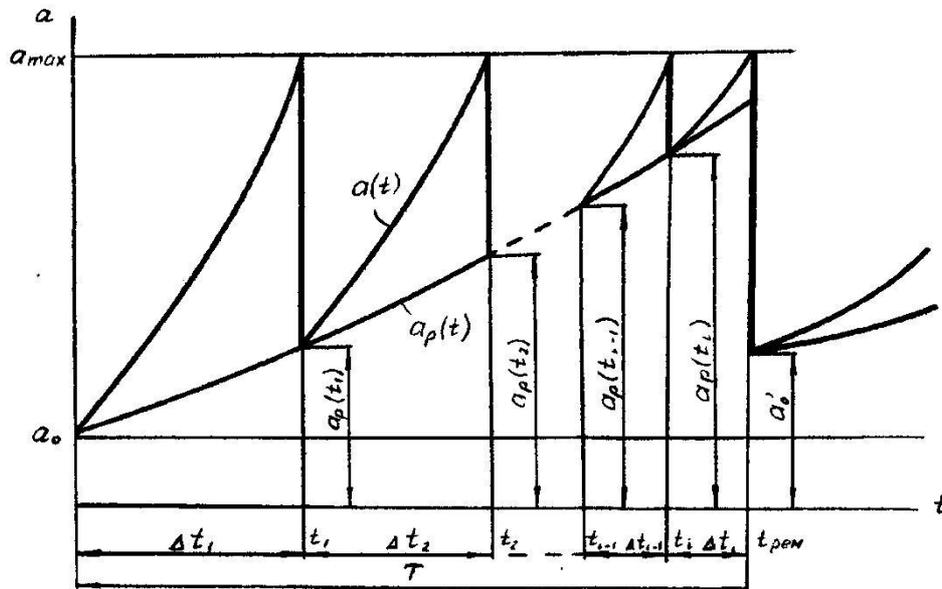


Рис.6. Графическая интерпретация математической модели параметрической надежности

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 :

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

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

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 9

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.9

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 межрегулирующего промежутка:

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

$$\ln 1 = \frac{0.4435}{1.8064} = 0.2455$$

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

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 межрегулирующего промежутка:

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

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

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).

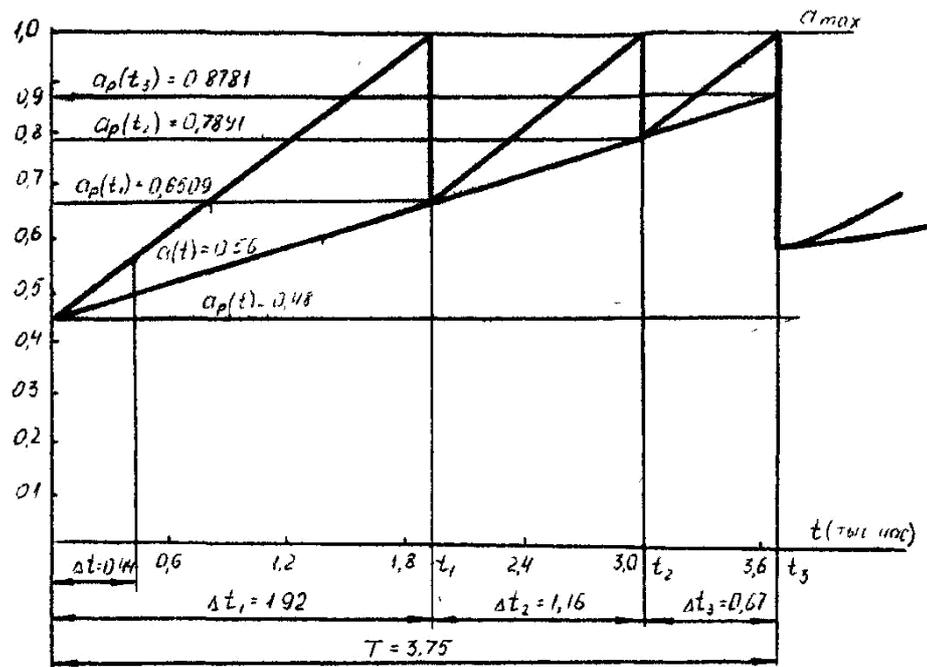


Рис.7. Расчетный график модели параметрической надежности

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 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:

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

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt , \quad (6.5)$$

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 \bar{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:

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

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

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

Тогда для значения σ_T^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 [8, 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 $t=0$ $f(t) = 0$ (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).

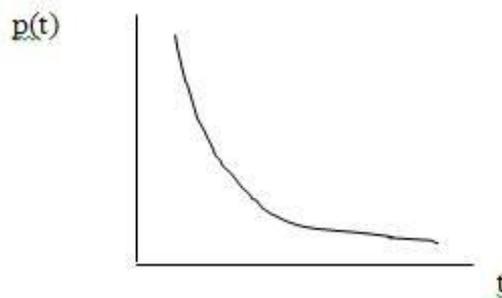


Рис.8. Экспоненциальный закон надежности.

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 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, 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 A равно n раз в серии из m опытов:

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

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 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:

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

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

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:

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

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 .

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

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

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

Для функции распределения должно выполняться условие нормировки:

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

или для интервала времени $[t_1; t_2]$

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

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:

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

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

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

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

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

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 σ_ψ^2 - 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

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

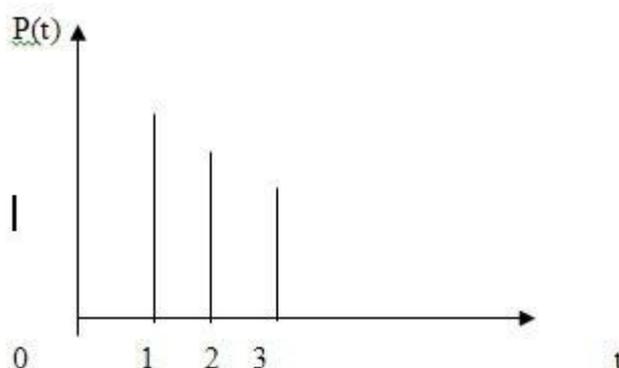


Рис.9. Закон распределения Пуассона

2. Биномиальный закон распределения

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

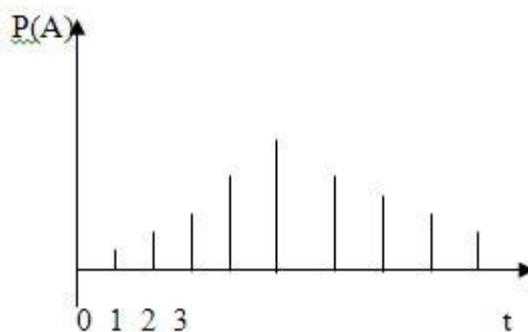


Рис.10. Биномиальный закон распределения

3. Экспоненциальный закон распределения

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

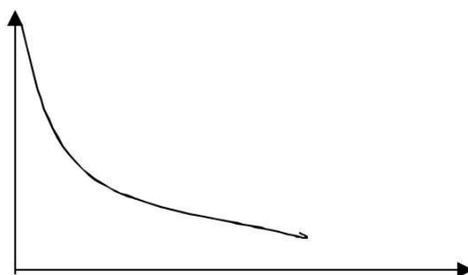


Рис.11. Экспоненциальный закон распределения

4. Закон распределения Вейбулла

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

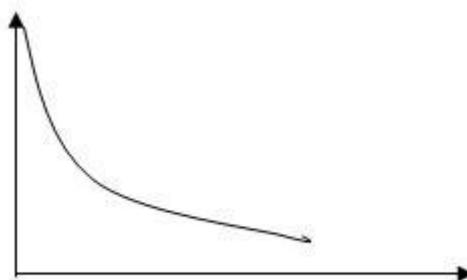


Рис.12. Закон распределения Вейбулла

4. Усеченный нормальный закон распределения

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

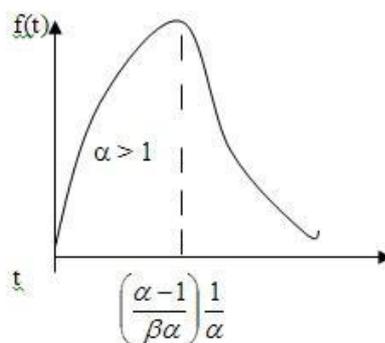


Рис.13. Усеченный нормальный закон распределения

6. Логарифмический нормальный закон распределения

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

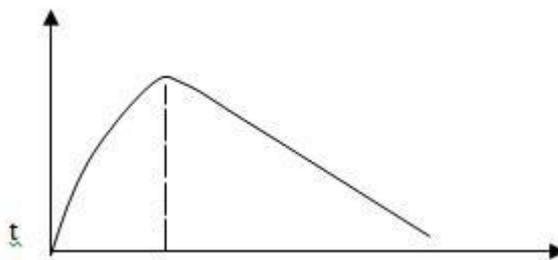


Рис.14. Логарифмический нормальный закон распределения

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) видеомагнитофона предназначен для перемещения магнитной ленты около магнитных головок с заданной номинальной скоростью.

ЛПМ состоит из основных и вспомогательных узлов. Основные узлы: литое шасси с впрысованными 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

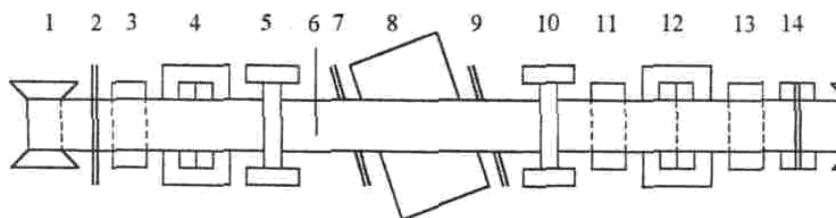


Рис.15. Основные узлы тракта движения магнитной ленты.

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.

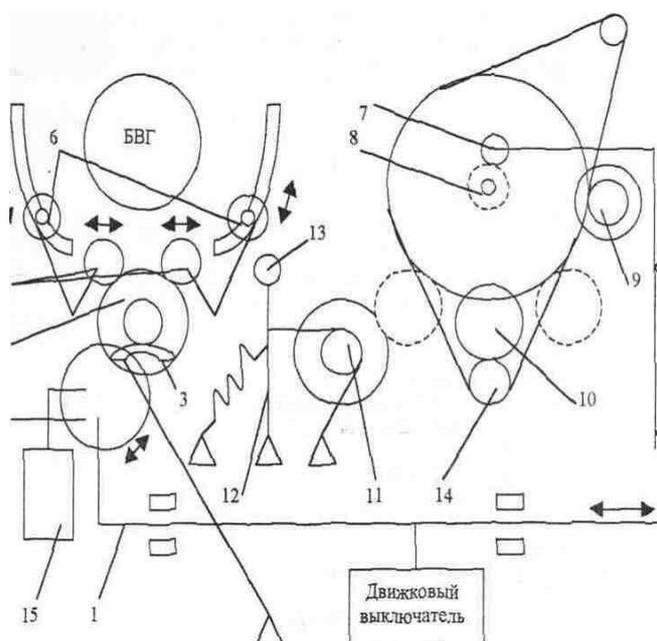


Рис.16. – Упрощенная кинематическая схема ЛПМ

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 перемотке ленты по направлению рабочего ход обратно производится только при приведение ЛПМ в положение «стоп». В включении режима перемотки на двигатель заправки подается напряжение той полярности, что и при расправке ленты. Двигатель вращает программную шестерню, снимая блокировку с ролика перемотки. Ролик под действием пружины подводит соответствующему подкассетнику и осуществляется перемотка. Ролик приводит движение двигателем ведущего вала. По окончании перемотки 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 видеомагнитофона 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. Основной 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 перемотка);
- е) ▶ ▶ кнопка (прямая перемотка);
- 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 надежности 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.

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 ω , 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 кино съемки 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.	49	22,6	32,8	34,4
	±6	±15	±7	±10
	10,6	2X4,85	10,6	5,6

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 10,07	2X4,85 2X4,69	10,6 10,2	5,6 5,35
Эффективная ширина поля видеозаписи, мм	4*10 ⁴ 1,07	8,4*10 ⁴ 0,56	5,4*10 ⁴ 0,85	9*10 ⁴ 0,58
Плотность записи, бит/мм ²	188X104X2 5	183X110, 5X26	155X94X25	95X62,5X14
Расход магнитной ленты, м ² /ч				
Размер кассеты, мм				

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 В, 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 Н 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 пепе предискажений в канале изображения Т при
уровне насыщения +15 дБ.мс _____ 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 следуем 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.

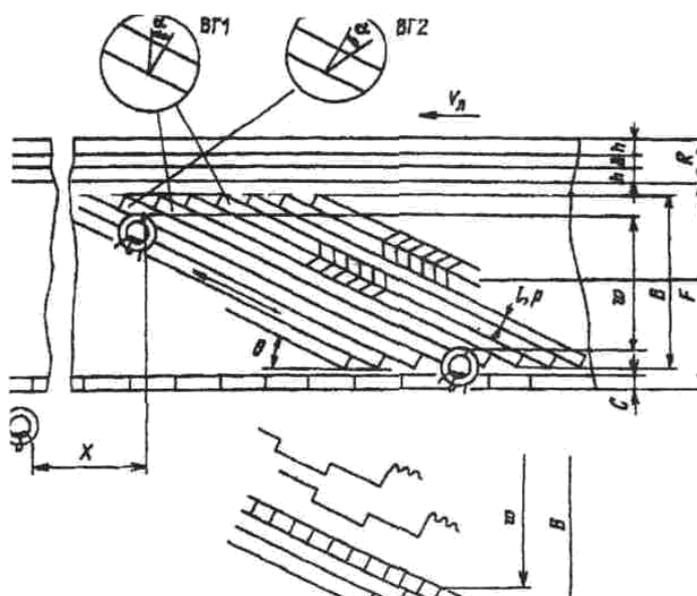


Рис.17 Сигналограмма формата VHS

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		

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 $p(t)$:

$$p(t) = \frac{1}{\sigma \Phi\left(\frac{t - M}{\sigma}\right) + 0,5} \Phi\left(\frac{t - M}{\sigma}\right)$$

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

$$C = \frac{1}{0,5 \Phi\left(\frac{3000}{300}\right) + 1}$$

Тогда для $p(t)$ запишем

$$p(t) = 0,95 \frac{1}{0,5 \Phi\left(\frac{t - 3000}{300}\right) + 1} = 0,45 \Phi\left(\frac{t - 3000}{300}\right)$$

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

Значение критерия χ^2 Пирсона при различных условиях значимости E и числах степеней свободы K

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

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.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭС,
РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

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