

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 19.09.2024 08:52:34  
Уникальный программный ключ:  
5cf0d6f89e80f49a3341fa40a38e91f5526b9926

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Практикум по дисциплине «Основы теории надежности»

Составители: Мусаев Л.П., Нежведилов Т.Д.

Махачкала  
ДГТУ  
2024г.

УДК 621.3.019.3(076)

ББК 32.14я73

О-75

**Основы теории надежности: Практикум по дисциплине «Основы теории надежности» / сост.: Мусаев Л.П., Нежведилов Т.Д.. – Махачкала ДГТУ, 2024.–17с.**

Рецензенты: д.т.н., профессор  
кафедры БиМАС  
ФГБОУ ВО «ДГТУ»

Магомедов Д.А.

д.т.н., зав. лабораторией  
ИТвЭ ФГБУН «ИПГ»  
ДНЦ РАН

Кобзаренко Д.Н.

Печатается согласно постановлению Ученого совета Дагестанского государственного технического университета от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Радиоэлектронные системы (РЭС) и комплектующие делятся на два класса:

- восстанавливаемые;
- невосстанавливаемые.

Имеются различия в показателях их безотказности.

**1.1. Показатели безотказности для невосстанавливаемых изделий** Большие комплексы РЭС относят к невосстанавливаемым. При анализе их надежности достаточно только показателей безотказности:

- вероятность безотказной работы;
- вероятность отказа;
- плотность распределения наработки до отказа (частота отказов);
- гамма-процентная наработка до первого отказа;
- интенсивность отказов;
- средняя наработка до первого отказа;
- средняя наработка на отказ;
- параметр потока отказов.

**Вероятность безотказной работы ( $P(t)$ )**–

это вероятность того, что в заданном интервале времени  $[0;t]$  или просто в течение времени изделие

Не откажет. Это вероятность того, что время до отказа будет не меньше  $t$ :

$$P(t) = P(\theta \geq t), \quad (1.1)$$

где  $\theta$  – время до отказа.

Функция  $P(t)$  обладает следующими свойствами:

$$0 \leq P(t) \leq 1; \quad P(0) = 1; \quad P(\infty) = 0. \quad (1.2)$$

Зависимость  $P(t)$  показана на рис. 1.1.

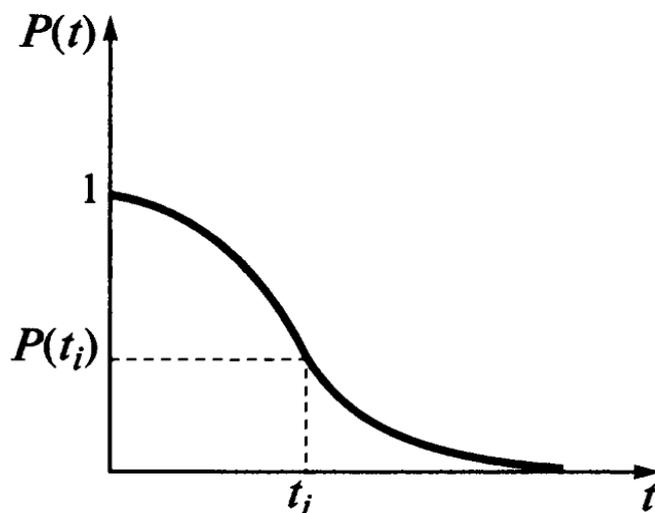


Рис. 1.1. Изменение вероятности безотказной работы изделия во времени

Величину  $P(t)$  можно определить статистически по результатам испытаний:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.3)$$

где  $N_0$  – общее число изделий, поставленных на испытание;

$N(t)$  – число исправных изделий в момент времени  $t$ ;

$n(t)$  – число отказавших устройств на интервале  $[0; t]$ .

**Вероятность отказа  $Q(t)$**  – это вероятность того, что в заданном интервале  $[0;t]$  изделие откажет.

Функция  $Q(t)$  обладает следующими свойствами:

$$Q(t) = P(\theta < t); \quad P(t) + Q(t) = 1; \quad Q(t) = \frac{n(t)}{N_0} \quad (1.4)$$

Зависимость  $Q(t)$  показана на рис. 1.2.

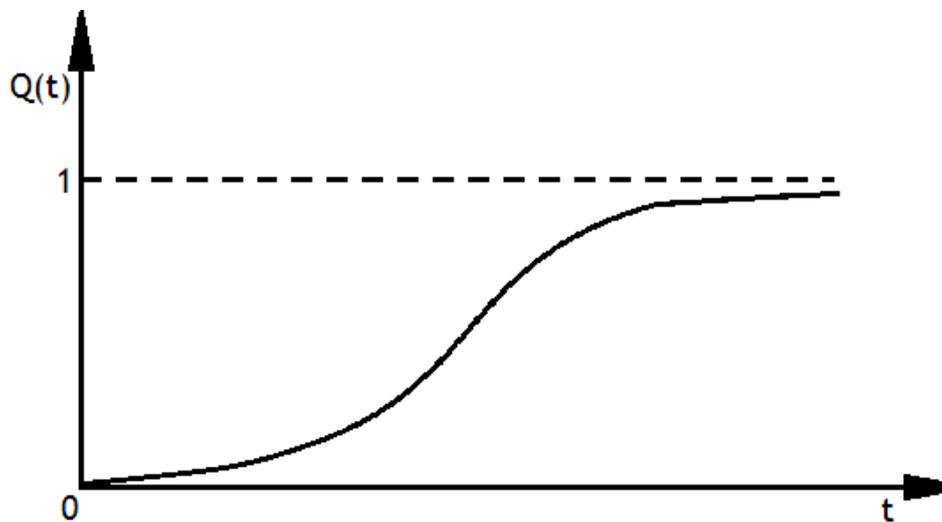


Рис. 1.2. Изменение вероятности отказа работы изделия во времени

**Плотность распределения наработки до отказа (частота отказа):**

$$\varphi(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = - \frac{dP(t)}{dt} \quad (1.5)$$

Другими словами,  $\varphi(t)$  – это скорость снижения безотказности.

Частота отказов по статистическим данным об отказах определяется выражением:

$$\overline{\varphi(t)} = \frac{\Delta n(t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (1.6)$$

где  $\Delta n(t)$  – число отказавших изделий на участке времени  $(t; t+\Delta t)$ ;

$\overline{\varphi(t)}$  – статистическая оценка частоты отказов изделия;

$\Delta t$  – интервал времени.

**Гамма-процентная наработка до первого отказа  $T_\gamma$**  – наработка, в течение которой отказ не возникает с вероятностью  $\gamma$  (измеряется в %):

$$P_\gamma = 1 - \int_0^{T_\gamma} \varphi(t) dt, \quad (1.7)$$

$$\overline{P(T_\gamma)} = P_\gamma = \frac{N(T_\gamma)}{N_0}, \quad (1.8)$$

где  $N(T_\gamma)$  – количество изделий, исправных на момент  $T_\gamma$ ;

$N_0$  – общее число изделий.

**Интенсивность отказа  $\lambda(t)$**  – это условная плотность вероятности отказа изделия в некоторый момент  $t$  наработки, с условием того, что отказов до этого момента не было:

$$\lambda(t) = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{1-Q(t)} = \frac{\varphi(t) P}{(t)}. \quad (1.9)$$

Статистически определяется как доля изделий, которая отказала в единицу времени после момента времени  $t$ , причем эта доля относится к числу изделий, исправных в момент времени  $t$ :

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{\Delta n}{N(t)\Delta t}, \quad (1.10)$$

где  $n$  – количество отказавших изделий.

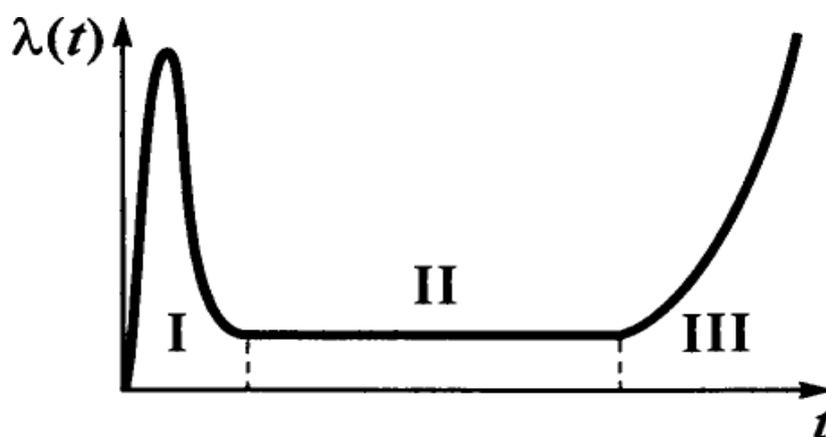


Рис. 1.3. Кривая жизни системы

По графику  $\lambda(t)$  можно определить 3 периода эксплуатации изделия (рис. 1.3).

**I** – период приработки. В время приработки наблюдаются приработочные отказы, обусловленные наличием бракованных изделий со скрытыми дефектами. Этот период продолжается от нескольких часов до сотен часов.

**II** – период нормальной эксплуатации. Характеризуется минимальным количеством отказов, которые имеют постоянное значение до времени  $t_3$ . В этот период наблюдаются, в основном, внезапные отказы, предупредить которые не представляется возможным.

**III** – период износа и старения. Характеризуется наступлением отказов вследствие износа и старения материалов компонентов.

В течение этого периода интенсивность отказов растет. Завершается этот период и вместе с ним эксплуатация приборов, когда интенсивность отказов приближается к максимально допустимой.

**Средняя наработка до первого отказа:**

$$T_{\text{cp}} = \int_0^{\infty} t \cdot \varphi(t) dt. \quad (1.11)$$

Конкретный вид функции  $\varphi(t)$  определяется законом распределения случайной величины  $t$ :

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=0}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (1.12)$$

где  $t_i$  – время наработки  $i$ -го изделия до первого отказа;

$N_0$  – Число изделий, поставленных на испытание.

Взаимосвязь между плотностью распределения наработки на отказ  $\varphi(t)$  и вероятностью безотказной работы  $P(t)$ :

$$P(t) = 1 - \int_0^t \varphi(t) dt = \int_t^{\infty} \varphi(t) dt. \quad (1.13)$$

Взаимосвязь между плотностью распределения наработки на отказ  $\varphi(t)$ , интенсивностью отказов  $\lambda(t)$  и вероятностью безотказной работы  $P(t)$ :

$$P(t) = \frac{\varphi(t)}{\lambda(t)} \quad (1.14)$$

Взаимосвязь между вероятностью безотказной работы  $P(t)$  и интенсивностью отказов  $\lambda(t)$ :

$$P(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (1.15)$$

Если  $\lambda(t)=\text{const}$  для эксплуатационного периода, то

$$P(t)=\exp(-\lambda t). \quad (1.16)$$

Взаимосвязь между средней наработкой до первого отказа  $T_{\text{ср}}$  и интенсивностью отказов  $\lambda(t)$ :

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (1.17)$$

Если  $\lambda=\text{const}$ , то  $T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}$

Взаимосвязь между  $T_{\gamma}$  и средней наработкой до первого отказа  $T_{\text{ср}}$ :

$$T_{\gamma} = -T_{\text{ср}} \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right). \quad (1.18)$$

Эти формулы связи позволяют находить значения вероятности безотказной работы  $P(t)$ , интенсивности отказа  $\lambda(t)$  и среднюю наработку на отказ  $T_{\text{ср}}$ , зная один из трех показателей.

## 1.2. Показатели безотказности для восстанавливаемых изделий

Для восстанавливаемых изделий процесс эксплуатации имеет две составляющих:

- собственно эксплуатацию в соответствии с функциональным назначением;
- восстановление работоспособности после отказа.

**Средняя наработка на отказ**, которая представляет математическое ожидание интервала времени между соседними отказами:

$$T = \int_0^{\infty} [F(t)] dt, \quad (1.19)$$

где  $F_k(t)$  – функция распределения случайного времени исправной работы  $\Theta_k$  между  $(k-1)$ -м и  $k$ -м отказами.

Статистически:

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \theta_{ki}, \quad (1.20)$$

где  $m$  – число отказов;

$\theta_{ki}$  – случайное время исправной работы изделия между  $(k-1)$ -м и  $k$ -м отказами.

Обязательным условием проведения испытаний на отказ является восстановление отказавших элементов или замена их новыми.

**Параметр потока отказов  $V(t)$**  – это отношение вероятности появления отказа за промежуток времени  $\Delta t$  к величине промежутка  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$V(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t, t + \Delta t)}{\Delta t}. \quad (1.21)$$

### 1.3. Примеры решения типовых задач

**Пример 1.** На испытание поставлено 1000 однотипных электронных компонентов, за 3000 часов отказало 80 компонентов. Требуется определить вероятности безотказной работы  $P(t)$  и отказа  $Q(t)$  при  $t = 3000$  ч.

**Решение:** в данном случае  $N_0 = 1000$ ;  $N(t) = 1000 - 80 = 920$ ;  
 $N_0 - N(t) = 1000 - 920 = 80$ . По формулам (1.3) и (1.4) определяем  
 $P(3000) = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{920}{1000} = 0,92$ ;  $Q(3000) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} = \frac{80}{1000} = 0,08$  или  
 $Q(3000) = 1 - P(3000) = 1 - 0,92 = 0,08$ .

**Пример 2.** На испытание было поставлено 1000 однотипных единиц РЭА. За первые 3000 ч. отказало 80 единиц, а за интервал времени 3000–4000 ч. отказало еще 50 единиц. Требуется определить

статистическую оценку частоты и интенсивности отказов в промежутке времени 3000–4000 ч.

**Решение:** в данном случае  $N_0=1000$ ;  $t=3000$ ч;  $\Delta t=1000$ ч;  $\Delta n(t)=50$ ;  $N(t)=920$ .

По формулам (1.5) и (1.9) находим

$$\varphi(t)=\varphi(3000)=\frac{\Delta n(t)}{N_0 \cdot \Delta t}=\frac{50}{1000 \cdot 1000}=5 \cdot 10^{-5} \quad 1/\text{ч}$$

$$\lambda(t)=\lambda(3000)=\frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N(t)}=\frac{50}{1000 \cdot 920}=5 \cdot 10^{-3} 1/\text{ч}.$$

**Пример 3.** На испытание поставлено  $N_0=400$ . За время  $t=3000$ ч. отказало 200 изделий, т.е.  $n(t)=400-200=200$ . За интервал времени  $(t, t+\Delta t)$ , где  $\Delta t=100$  ч, отказало 100 изделий, т.е.  $\Delta n(t)=100$ .

Требуется определить  $P(3000)$ ,  $P(3100)$ ,  $f(3000)$ ,  $\lambda(3000)$ .

**Решение:** по формуле (1.3) находим

$$P(3000)=\frac{n(t)}{N}=\frac{200}{400}=0,5.$$

$$P(3000)=\frac{n(t)}{N}=\frac{100}{400}=0,25.$$

Используя формулы (1.5) и (1.9), получим

$$\varphi(t)=\varphi(3000)=\frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}=\frac{1000}{400 \cdot 100}=2,5 \cdot 10^{-3} \quad (1/\text{ч})$$

$$\lambda(t)=\lambda(3000)=\frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot n(t)}=\frac{100}{100 \cdot 200}=5 \cdot 10^{-3} \quad (1/\text{ч})$$

**Пример 4.** На испытание поставлено  $n$  однотипных изделий. Получены следующие значения  $t_i$  ( $t_i$  – время безотказной работы

$i$ -го изделия):  $t_1=280$ ч;  $t_2=350$ ч;  $t_3=400$ ч;  $t_4=320$  ч;  $t_5=380$ ч;  $t_6=330$ ч.

Определить статистическую оценку среднего времени безотказной работы изделия.

**Решение:** по формуле (1.12) имеем:

$$\overline{T}_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{280+350+400+320+380+330}{6} = \frac{2060}{6} = 343,3 \text{ ч.}$$

**Пример 5.** За наблюдаемый период эксплуатации аппаратуры было зафиксировано 7 отказов. Время восстановления составило:

$t_1=12$  мин;  $t_2=23$  мин;  $t_3=15$  мин;  $t_4=9$  мин;  $t_5=17$  мин;

$t_6=28$  мин;  $t_7=25$  мин;  $t_8=31$  мин.

Требуется определить среднее время восстановления аппаратуры  $T_B$ .

**Решение:**

$$\overline{T}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{12+23+15+9+17+28+25+31}{8} = \frac{160}{8} = 20 \text{ мин.}$$

#### 1.4. Задачи для самостоятельного решения

**1.1.** На испытание поставлены 1000 однотипных резисторов С2-54. За 10000 ч отказали — 5. Определить вероятность безотказной работы резисторов за 10 000 ч.

**1.2.** В процессе приработки изделия, содержащего 120 элементов, вышли из строя — 10. Определить вероятность исправной работы

и вероятность отказа радиоизделия на начальном этапе эксплуатации.

**1.3.** В процессе испытаний 1 000 электролитических конденсаторов за первые 100 ч наблюдений вышли из строя 2 конденсатора, а за последующие 200 ч — еще 5. Найти вероятность безотказной работы конденсаторов в интервале времени от 100 до 300 ч.

**1.4.** За первые 500 ч эксплуатации радиоизделия, содержащего 1 000 элементов, произошло 3 отказа, и за последующие 500 ч — еще один. Найти вероятность безотказной работы радиоизделия в течение 500,

1000 ч в интервале времени от 500 до 1000 ч.

**1.5.** Определить вероятность отказа резисторов, если при испытании 1000 штук через 100 ч остались исправными 990.

**1.6.** На испытание поставлены 500 однотипных резисторов. За 5000 часов отказали 10. Определить вероятность безотказной работы резисторов за 5000 часов.

**1.7.** В процессе приработки изделия, содержащего 150 элементов, вышли из строя – 5. Определить вероятность исправной работы

и вероятность отказа радиоизделия на начальном этапе эксплуатации.

**1.8.** В процессе испытаний 500 электролитических конденсаторов за первые 100 часов наблюдений вышел из строя 1 конденсатор, а за последующие 200 часов –

еще 3. Найти вероятность безотказной работы конденсаторов в интервале времени от 100 до 300 часов.

**1.9.** Определить вероятность отказа резисторов, если при испытании 500 резисторов через 50 часов остались исправными 495.

**1.10.** Определить, какое число резисторов необходимо поставить на испытание, чтобы получить не менее 30 отказов в течение 100 часов, если ожидаемая интенсивность отказов одного резистора

$$\bar{\lambda}(t) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

**1.11.** В интервалы работы от 120 до 150 часов интенсивность отказов ЭРИ составила  $\bar{\lambda}(t) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$ , а число отказов – 5. Определить число ЭРИ, оставшихся исправными за 150 ч.

**1.12.** На испытании 300 конденсаторов число их отказов за первые 900 часов составило 3, а за последующие 100 часов –

5. Найти вероятность безотказной работы конденсаторов в интервале времени от 900 до 1000 часов.

**1.13.** Результаты статистических испытаний 1000 образцов ремонтируемой аппаратуры с фиксированием числа отказов через каждые 100 часов работы приведены в следующей таблице:

**Таблица 1.1**

$\Delta t_i, 10^3 \cdot \text{ч}$	0...1	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6
$n(\Delta t_i)$	50	20	20	19	18	18
$\Delta t_i, 10^3 \cdot \text{ч}$	6...7	7...8	8...9	9...10		
$n(\Delta t_i)$	18	17	16	15		

Построить зависимость интенсивности отказов аппаратуры от времени. Указать, на каком этапе жизненного цикла изделия проводились испытания.

**1.14.** Интенсивность отказов, полученная при испытаниях серии ИМС из 10 штук, равна  $\bar{\lambda}(t) = 2 \cdot 10^{-5}$  1/ч. Определить число ИМС, отказавших в течение 100 часов работы.

**1.15.** Частота отказов конденсаторов при испытании их в течение 100 часов составила  $\bar{\lambda}(t) = 4 \cdot 10^{-4}$  1/ч, а наблюдаемое число отказов — 40. Найти число конденсаторов, поставленных на испытания.

**1.16.** Определить, какое число резисторов необходимо поставить на испытания, чтобы получить не менее 50 отказов в течение 10000 ч,

если ожидаемая интенсивность отказа одного резистора  $5 \cdot 10^{-5}$  1/ч.

**1.17.** В интервале времени работы от 1200 до 1500 ч интенсивность отказов ЭРИ составила  $5 \cdot 10^{-5}$  1/ч, а число отказов — 50. Определить число ЭРИ, оставшихся исправными за 1500 ч.

**1.18.** В интервале времени испытаний от 1000 до 1100 ч интенсивность отказов конденсаторов составила  $4 \cdot 10^{-4}$  1/ч, а число отказов — 10. Найти вероятность безотказной работы конденсаторов в указанном интервале времени.

**1.19.** На испытания поставлена партия из 1000 однотипных транзисторов. За первые 3000 ч отказали 80 из них, а за последующие 1000 ч — еще 50. Определить статистическую интенсивность отказов транзисторов в интервале времени испытаний от 3000 до 4000 ч.

**1.20.** Определить интенсивность отказов интегральной микросхемы в интервале времени работы от 1800 до 2600 ч, если из 200 ИМС, поставленных на испытания, 1800 ч до отказа проработала одна ИМС, 2000 ч — две, 2200 ч — четыре, 2400 ч — две, 2600 ч — одна.

**1.21.** Вероятность безотказной работы ЭРИ в течение 3000 ч составляет 0,95 при числе произошедших отказов — 5, а в течение 3100 ч — 0,9. Найти число изделий, поставленных на испытания и число их отказов в интервале времени работы от 3000 до 3100 ч.

**1.22.** При испытании 500 конденсаторов число их отказов за первые 1000 ч составило 4, а в последующие 100 ч — 5. Найти вероятность безотказной работы конденсаторов в интервале времени работы от 1000 до 1100 ч.

**1.23.** Наблюдение за работой трех образцов ЭРИ показало: первый образец работал 181 ч и отказал, второй — работал 329 ч

отказал 11 раз, третий – работал 245 ч и отказал 8 раз. Определить среднюю наработку до первого отказа одного образца ЭРИ.

**1.24.** В течение наблюдаемого периода эксплуатации одного образца радиолокационной станции было зарегистрировано 15 отказов. При этом до начала наблюдения станция проработала 258 ч, а к концу наблюдения ее наработка составила 1233 ч. Определить среднюю наработку станции до первого отказа.

**1.25.** Интенсивность отказов, полученная при испытаниях серии ИМСиз 1000 штук, равна  $2 \cdot 10^{-6}$  1/ч. Определить число ИМС, отказавших в течение 1000 ч работы.

**1.26.** Частота отказов конденсаторов при испытании их в течение 1000 ч составила  $5 \cdot 10^{-5}$  1/ч, а наблюдаемое число отказов – 50. Найти число конденсаторов, поставленных на испытание.

**1.27.** Испытание радиолокационной станции проводилось 30 дней. Первый ее отказ произошел через 12 ч, а время восстановления составило 8 ч. Вторым отказ произошел через 3 суток после первого, а время поиска неисправности и ремонта составило 6 ч. Третий отказ произошел через 15 суток после второго, а время восстановления составило 3 ч. Найти среднее время безотказной работы станции и среднее время ее восстановления.

**1.28.** Зависимость частоты отказов ЭРИ от времени имеет вид  $\varphi(t) = C_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$ . Определить вероятность его безотказной работы за 1000 ч, если  $C_1 = 0,9$ ;  $C_2 = 0,1$ ;  $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-4}$  1/ч;  $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-4}$  1/ч.

**1.29.** Зависимость частоты отказов ЭРИ от времени имеет вид  $\varphi(t) = C_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$ . Определить среднюю наработку этого изделия на отказ при  $C_1 = 0,9$ ;  $C_2 = 0,1$ ;  $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-4}$  1/ч;  $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-4}$  1/ч и интенсивность его отказов в течение 1000 ч.

**1.30.** Зависимость частоты отказов ЭРИ от времени имеет вид  $\varphi(t) = \frac{2}{3} \lambda_0 e^{-\lambda_0 t} (1 + e^{-\lambda_0 t})$ . Определить вероятность его безотказной работы за 100 ч, если  $\lambda_0 = 8,5 \cdot 10^{-5}$  1/ч.

**1.31.** Зависимость вероятности безотказной работы аппаратуры от времени имеет вид  $P(t) = C_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$ , где  $C_1, C_2, \lambda_1, \lambda_2$  – постоянные величины, причем  $C_1 + C_2 = 1$ . Найти среднее время наработки аппаратуры до первого отказа, если  $C_1 = 0,8$ ;

$$\lambda_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}; \lambda_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч.}$$

**1.32.** На испытание поставлено 45 изделий. За время  $t=60$  ч. Вышло из строя 35 штук изделий. За последующий интервал времени 60-65 часов вышло из строя еще 3 изделия. Необходимо вычислить  $P(t)$  при  $t=60$  ч и  $t=65$  ч;  $\varphi(t)$ ,  $\lambda(t)$  при  $t=60$  ч.

**1.33.** В результате наблюдения за 45 образцами радиоэлектронного оборудования, которые прошли предварительную 80-часовую приработку, получены данные до первого отказа всех 45 образцов, сведенные в табл. 1.2. Необходимо определить  $\overline{T}_{\text{ср}}$ .

**Таблица 1.2**

$\Delta t_i, \text{ч}$	$N_i, \text{ч}$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$N_i, \text{ч}$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$N_i, \text{ч}$
0-10	19	30-40	3	60-70	1
10-20	13	40-50	0	—	—
20-30	8	50-60	1	—	—

**1.34.** На испытание поставлено 8 однотипных изделий. Получены следующие значения  $t_i$  ( $t_i$  — время безотказной работы  $i$ -го изделия):  $t_1=560$  ч;  $t_2=700$  ч;  $t_3=800$  ч;  $t_4=650$  ч;  $t_5=580$  ч;  $t_6=760$  ч;  $t_7=920$  ч;  $t_8=850$  ч. Определить статистическую оценку среднего времени безотказной работы изделия.

**1.35.** За наблюдаемый период эксплуатации в аппаратуре было зарегистрировано 6 отказов. Время восстановления составило

:

$$t_1=15 \text{ мин}; t_2=20 \text{ мин}; t_3=10 \text{ мин}; t_4=28 \text{ мин}; t_5=22 \text{ мин};$$

$t_6=30$  мин. Требуется определить среднее время восстановления аппаратуры  $\overline{T}_{\text{ср}}$ .

**1.36.** На испытание поставлено 1000 изделий. За время  $t=11000$  ч вышло из строя 410 изделий. За последующий интервал времени 11000-12000 ч вышло из строя еще 40 изделий. Необходимо вычислить  $P(t)$  при  $t=11000$  ч и  $t=12000$  ч, а также  $\varphi(t)$ ,  $\lambda(t)$  при  $t=11000$  ч.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Половко, А. М. Сборник задач по теории надежности / А. М. Половко, И. М. Маликов, А. Н. Жигарев, В. И. Зарудный; под ред. А. М. Половко, И. М. Маликова. – М.: Сов. радио, 1972. – 408 с.
2. Ямпурин, Н. П. Основы надежности электронных средств: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова; под ред. Н. П. Ямпурин. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 240 с.

