

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович
Должность: Ректор
Дата подписания: 17.09.2025 12:17:34
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334fba40a38e91f5526b9926

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 за время изделия

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

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

где θ – 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.

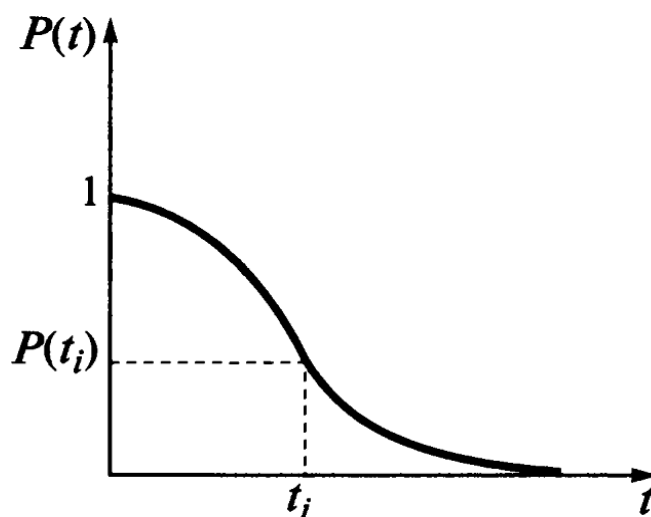


Рис.1.1.Изменение вероятности безотказной работы изделия во времени

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.

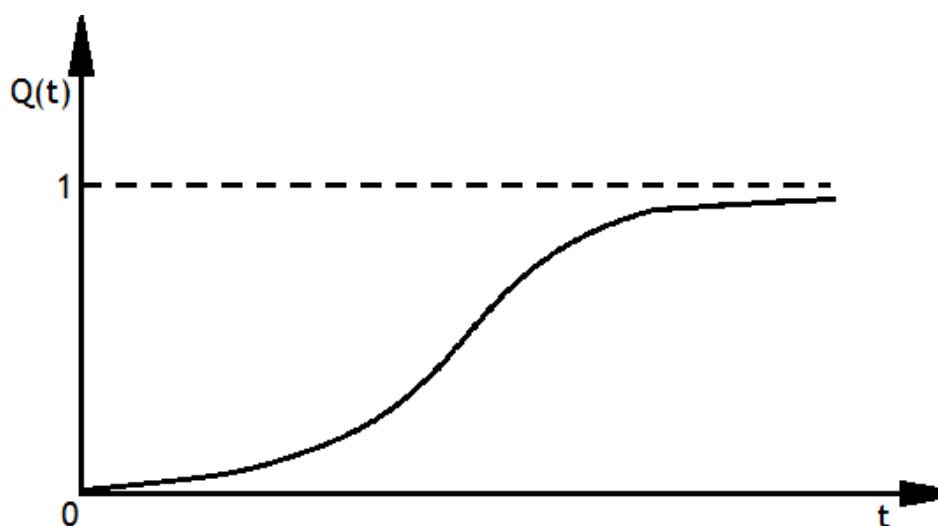


Рис. 1.2. Изменение вероятности отказа работы изделия во времени

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;

Δt – интервал времени.

Гамма-процентная наработка до первого отказа T_γ – наработка, в течение которой отказ не возникает с вероятностью γ (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_γ ;

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.

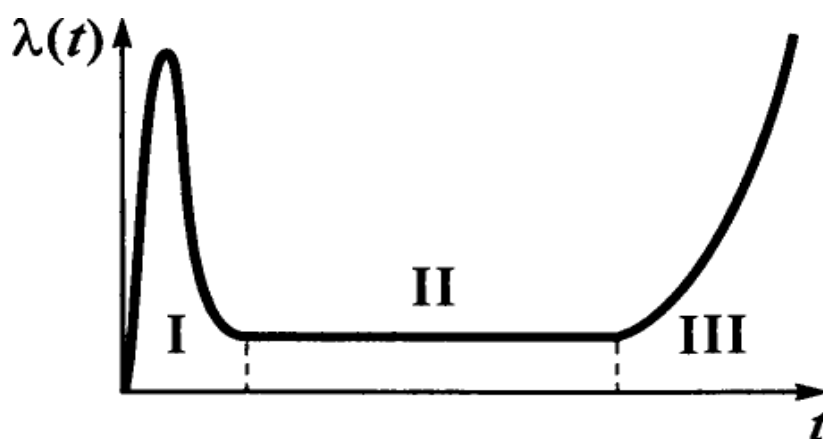


Рис. 1.3. Кривая жизни системы

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 и 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:

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

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

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

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_{γ} 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 эксплуатации в соответствии с функциональным назначением;
- восстановлению работоспособности после отказа.

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

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

где $F_k(t)$ – функция распределения случайного времени исправной работы Θ_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;

θ_{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 Δt 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

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

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

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 испытания, 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 интервал 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 неремонтируемой 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 $t=60 \text{ ч}$. Вышло из строя 35 штук изделий. За последующий интервал времени 60-65 часов вышло из строя еще 3 изделия. Необходимо вычислить $P(t)$ при $t=60 \text{ ч}$ и $t=65 \text{ ч}$; $\varphi(t)$, $\lambda(t)$ при $t=60 \text{ ч}$.

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): $t_1=560 \text{ ч}; t_2=700 \text{ ч}; t_3=800 \text{ ч}; t_4=650 \text{ ч}; t_5=580 \text{ ч}; t_6=760 \text{ ч}; t_7=920 \text{ ч}; t_8=850 \text{ ч}$. Определить статистическую оценку среднего времени безотказной работы изделия.

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

$t_1=15 \text{ мин}; t_2=20 \text{ мин}; t_3=10 \text{ мин}; t_4=28 \text{ мин}; t_5=22 \text{ мин}; t_6=30 \text{ мин}$. Требуется определить среднее время восстановления аппаратуры $\overline{T_{\text{ср}}}$.

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

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. Ямпурина. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 240 с.

