МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КРИВОРІЗЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни „Надійність та діагностика СЕП”

Для студентів спеціальності 7.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання» всіх форм навчання

м. Кривий Ріг
2010 р.

Укладачі: Аніськов О.В., ст. викл.

Відповідальний за випуск Щокін В.П., к.т.н., доцент.

Рецензент: к.т.н., доц. Гузов Е.С.

Розглянуто на засіданні кафедри «Електропостачання та ресурсозбереження»

Протокол №__ від ___ _________2010р.

Схвалено на засіданні вченої ради електротехнічного факультету

Протокол № __ від ___ _________2010р.

Задачи к главе «Элементы теории надежности»

Пример 1. В технических условиях на асинхронные электродвигатели серии 4 А указана вероятность безотказной работы $P(t)$ = 0,9 за 10000 часов наработки. Необходимо определить интенсивность отказов и наработку на отказ.

Решение. При экспоненциальном распределении отказов основной закон надежности имеет вид: $P(t) = \exp(-\lambda t)$. Отсюда находим (1/ч, ч)

$$\lambda t = \ln P(t); \qquad \lambda = \frac{\ln P(t)}{t} = \frac{\ln 0{,}9}{10000} = 1{,}05 \cdot 10^{-5};$$

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1{,}05 \cdot 10^{-5}} = 95238.$$

Пример 2: Определить вероятность того, что за время t = 100 ч произойдет 0; 1;2 отказа, если λ = 0,025.

Решение: 1) Среднее число отказов за время $t: a = \lambda t = 2{,}5$.

2) Вероятность отсутствия отказов $P_0(100) = e^{-2,5} = 0{,}082$.

3) Вероятность одного отказа: $P_1(100) = \dfrac{(2{,}5)^1}{1} e^{-2,5} = 0{,}205$.

4) Вероятность двух отказов: $P_2(100) = \dfrac{(2{,}5)^2}{2} e^{-2,5} = 0{,}256$.

Пример 3. На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп, за 3000 час отказало 80 ламп. Требуется определить $P(t)$, $Q(t)$, λ(t) при t = 3000 час.

Решение: Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \tag{1}$$

где $n(t)$ – число отказавших за время $(0,t)$ элементов; $N(t) = N_0 - n(t)$, безотказно проработавших до момента t, к первоначальному числу элементов, поставленных на испытание N_0.

$P(t)$= 1000 – 80/1000 = 0,92; $P(t) + Q(t)$ = 1; $1 - P(t) = 1 - 0{,}92 = 0{,}08$.

Пример 4. Определить коэффициенты готовности, простоя и коэффициент технического использования для трансформатора с высшим напряжением 35, 110 кВ.

Решение. Из приложения 1 берем исходные показатели надежности: $\lambda = 0{,}03$ год$^{-1}$; $T_В = 30$ ч; $T_0 = 11$ ч.

Тогда $T = 1/\lambda = 1/0{,}03 = 33{,}33$ года

Расчеты по формулам (2.37), (2.40), (2.42) дают следующие результаты:

$$K_Г = \frac{8760 \cdot 33{,}3}{8760 \cdot 33{,}3 + 30} = 0{,}999897\,; \qquad K_П = 1 - 0{,}999897 = 0{,}000103\,;$$

$$K_{ТИ} = \frac{8760 \cdot 33{,}3}{8760 \cdot 33{,}3 + 11} = 0{,}999859\,.$$

1.1. В результате наблюдения за 45 образцами радиоэлектронного оборудования получены данные до первого отказа всех 45 образцов, которые сведены в табл. 1.1. Требуется определить $P(t)$; $Q(t)$; $\lambda(t)$.

Таблица 1.1

Данные первого отказа всех образцов

t_i, час	n_i	t_i, час	n_i	t_i, час	n_i
0−5	1	30−35	4	60−65	3
5−10	5	35−40	3	65−70	3
10−15	8	40−45	0	70−75	3
15−20	2	45−50	1	75−80	1
20−25	5	50−55	0		
25−30	6	55−60	0		

1.2. На испытание было поставлено 1000 однотипных ламп. За первые 3000 ч отказало 80 ламп, а за интервал времени 3000−4000 ч отказало еще 50 ламп. Требуется определить статистическую оценку частоты и интенсивности отказов электронных ламп в промежутке времени 3000−4000 ч.

1.3. На испытание поставлено N = 400 изделий. За время t = 3000 ч отказало 200 изделий, т.е. $n(t) = 400 - 200 = 200$.За интервал времени $(t, t + \Delta t)$, где t = 100 ч, отказало 100 изделий, т.е. $n(t)$ = 100. Требуется определить $P^*(3000)$.

1.4. На испытание поставлено 100 однотипных изделий. За 4000 ч отказало 50 изделий. За интервал времени 4000−4100 ч отказало еще 20 изделий. Требуется определить $f^*(t)$,$*(t)$ при t = 4000 ч.

1.5. На испытание поставлено 100 однотипных изделий. За 4000 ч отказало 50 изделий. Требуется определить $p^*(t)$ и $q^*(t)$ при t = 4000 ч.

1.6. В течение 1000 ч из 10 гироскопов отказало 2. За интервал времени 1000−1100 ч отказал еще один гироскоп. Требуется определить $f^*(t)$, $*(t)$ при t =1000 ч.

1.7. На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За первые 3000 ч отказало 80 ламп. За интервал времени 3000−4000 ч отказало еще 50 ламп. Требуется определить $p^*(t)$ и $q^*(t)$ при t = 4000 ч.

1.8. На испытание поставлено 1000 изделий. За время t = 1300 ч вышло из строя 288 штук изделий. За последующий интервал времени 1300−1400 ч вышло из строя еще 13 изделий. Необходимо вычислить $p^*(t)$ при t = 1300 ч и t = 1400 ч; $f^*(t)$, $*(t)$ при t =1300 ч.

1.9 На испытание поставлено 45 изделий. За время t = 60 ч вышло из строя 35 штук изделий. За последующий интервал времени 60−65 ч вышло из строя еще 3 изделия. Необходимо вычислить $p^*(t)$ при t = 60 ч и t = 65 ч; $f^*(t)$, $*(t)$ при t = 60 ч.

1.10. 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.

1.11. Предприятие по ремонту электрических машин гарантирует вероятность безотказной работы электродвигателей после ремонта 0,8 в течение наработки 9000 ч. Определить интенсивность отказов и среднюю наработку до отказа электродвигателя после ремонта на участке длительной эксплуатации.

1.12. Определить, какое из устройств имеет большую вероятность безотказной работы за период работы 1000 ч, если плотность распределения наработки на отказ описывается формулами:

$$f_1 \cdot (t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t), \qquad f_2(t) = t / r^2 [\exp(-t^2 / 2r^2)]$$

при $\lambda = 10^{-4}$ ч$^{-1}$, $r = 0{,}5 \cdot 10^4$ ч.

1.13. Поток отказов сложной системы автоматического управления имеет параметры λ = 10^{-2}. Определить вероятность того, что в интервале времени 0...100 ч в системе не произойдет отказа.

1.14. Наработка до отказа электроприемника на этапе ускоренного износа имеет параметры m_t = 1500 ч, σ_t = 695 ч. В течение какой наработки электроприемник будет работать с вероятностью безотказной работы 0,8.

1.15. Средний выход осветительных приборов в ремонтной мастерской за время t = 1000 ч составил 20 шт, какова вероятность того, что за время 100 ч возникнет 3 отказа.

1.16. Пускорегулирующая аппаратура состоит из 5 элементов, отказ каждого ведет к отказу всей системы. Известно, что первый элемент отказал 34 раза за 9520 ч работы, второй − 24 раза в течении 9600 ч работы, остальные за 2100 ч работы − 4,6 и 5 раз соответственно. Необходимо определить наработку на отказ системы.

1.17. Солнечная батарея состоит из 100 функционально необходимых равно надежных элементов. Определить, какой величиной интенсивности отказов должны обладать элементы, чтобы вероятность безотказной работы системы за 100 ч была не менее 0,9.

1.18. На основании обработки статистических данных установлено, что надежность асинхронного двигателя на этапе приработки (0...4000 ч) описывается законом Вейбулла с параметрами α = 0,22 и $\lambda_0 = 1{,}75 \cdot 10^{-2}$, а на этапе нормальной эксплуатации до 20000 ч, экспоненциальным распределением ($\lambda_0 = 1{,}83 \cdot 10^{-5}$ ч$^{-1}$). Определить $P(1000)$, $P(10000)$, $P(20000)$, $f(20000)$.

1.19. Вероятность безотказной работы машины постоянного тока на этапе приработки имеет параметры $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ ч$^{-1}$ и b = 1,2. Определить вероятность безотказной работы и наработку до отказа машины за t = 400 ч.

1.20. Сравнить между собой наработку до отказа двух неремонтируемых объектов, имеющих функцию надежности:

$$P_1(t) = \exp(-3{,}7 \cdot 10^{-4} t), \qquad P_2(t) = 1{,}5 \exp(-10^{-4} t) + 1{,}1 \exp(-0{,}5 \cdot 10^{-3} t).$$

1.21. Средний выход осветительных приборов в ремонтной мастерской за время t = 1500 ч составил 28 шт, какова вероятность того, что за время 300 ч возникнет 6 отказов.

1.22. Тиристорный преобразователь имеет параметры нормального распределения m_t = 1200 ч и σ_t = 480 ч. Определить значение вероятности безотказной работы и интенсивности отказов для t = 200 ч.

1.23. Определить, какой должна быть наработка до отказа электрической машины, чтобы вероятность безотказной работы была 0,9 в течение наработки 10000 ч.

1.24. Сравнить между собой наработку до отказа двух неремонтируемых объектов, имеющих функцию надежности:

$$P_1(t) = \exp(-2{,}5 \cdot 10^{-3} t), \qquad P_2(t) = 0{,}7 \exp(-4{,}1 \cdot 10^{-3} t) + 0{,}08 \exp(-0{,}22 \cdot 10^{-3} t).$$

1.25. Приемный пункт по ремонту электробытовой аппаратуры получает в среднем 5 заявок на ремонт в день. Какова вероятность того, что за 1 час он получит 2 заявки.

Вопросы для самоконтроля

1. Термины и определения в теории надежности.
2. Что понимается под определением «надежность»?
3. Что такое объект, система, элемент?
4. Основные понятия: свойства, состояния, события.
5. Какие законы распределения случайных величин применяются в теории надежности?
6. По каким признакам классифицируются отказы?
7. Какие числовые характеристики случайных величин применяются в теории надежности?
8. Какие существуют единичные показатели надежности?
9. Какие существуют комплексные показатели надежности?
10. В чем отличие частоты отказов от интенсивности отказов?
11. Чем отличаются друг от друга внезапный и постепенный отказы?
12. Что такое интенсивность отказов и интенсивность восстановления?
13. Какова сущность критерия «параметр потока отказов»?
14. Объясните разницу между единичными и комплексными показателями надежности объектов.

Задачи к главе «Надежность взаимосвязанных элементов»

Пример 1. Определить интенсивность отказов, среднее время восстановления, среднее время безотказной работы и вероятность безотказной работы в течение 1 года системы, состоящей из 5 последовательно соединенных элементов со следующими показателями надежности:

$\lambda_1 = 0{,}5$ год$^{-1}$; $T_{B1} = 16$ ч;
$\lambda_2 = 0{,}32$ год$^{-1}$; $T_{B2} = 8$ ч;
$\lambda_3 = 0{,}3$ год$^{-1}$; $T_{B3} = 6$ ч;
$\lambda_4 = 0{,}64$ год$^{-1}$; $T_{B4} = 12{,}5$ ч;
$\lambda_5 = 0{,}001$ год$^{-1}$; $T_{B5} = 15$ ч.

Решение. Интенсивность отказов системы, год$^{-1}$

$$\lambda_C = \sum_{i=1}^{5} \lambda_i = 0{,}50 + 0{,}32 + 0{,}30 + 0{,}64 + 0{,}001 = 1{,}761.$$

Среднее время восстановления, ч

$$T_{BC} = \lambda_C^{-1} \sum_{i=1}^{5} \lambda_i \cdot T_{Bi} = (1{,}761^{-1} \cdot 0{,}50 \cdot 16{,}0 + 0{,}32 \cdot 8{,}0 + 0{,}30 \cdot 6{,}0 + 0{,}64 \cdot 12{,}5 +$$
$$+ 0{,}001 \cdot 15{,}0) = 11{,}57.$$

Среднее время безотказной работы, ч

$$T_C = \lambda_C^{-1} = 1/1{,}761 = 0{,}568 = 4974.$$

Вероятность безотказной работы за $t = 1$ год

$$P_C(1) = \exp(-1{,}761 \cdot 1) = 0{,}17.$$

Пример 2. Определить приближенно вероятность безотказной работы системы, представленной на рисунке 2.1, методом преобразованием треугольника в звезду.

Вероятности безотказной работы всех элементов одинаковы: $p_i=p=0,9$

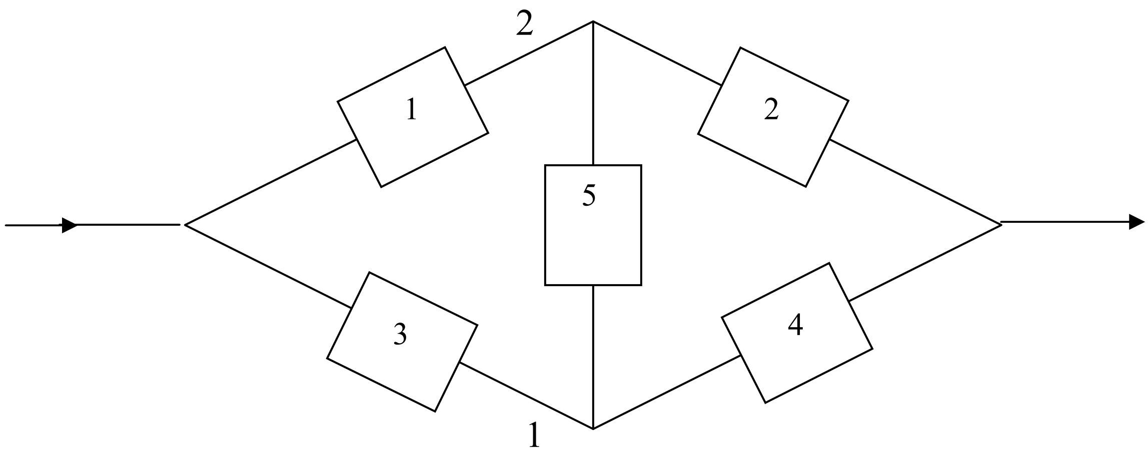


Рис. 2.1

Решение.

Образуемый элементами 1, 3, 5 треугольник, преобразуем в звезду с элементами 6, 7, 8 (см. рис.2.2). Согласно формулам (3.18) определим вероятности отказов элементов звезды

$$q_6 = q_7 = q_8 \approx q^2 \approx (1-p)^2 = (1-0,9)^2 = 0,01;$$
$$p_6 = p_7 = p_8 = 0,99.$$

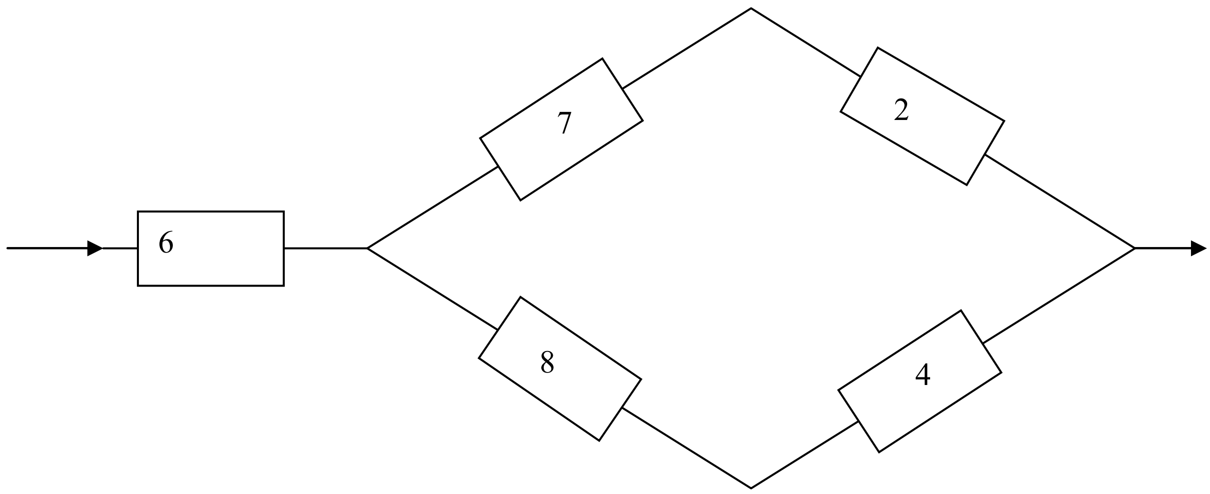


Рис. 2.2

Используя формулы для последовательно-параллельного соединенных элементов, определяем вероятность безотказной работы системы

$$P_C = p_6\left[1-(1-p_2 p_7)(1-p_4 p_8)\right] = 0,99[1-(1-0,9*0,99)(1-0,9*0,99)] = 0,9782.$$

2.1 Определить вероятность безотказной работы в течение 4 лет системы, схема замещения которой по надежности представляет собой мостиковую (рис.2.1). Интенсивность отказов всех элементов одинакова: $\lambda_1 = \ldots = \lambda_4 = 0{,}01$ год$^{-1}$:

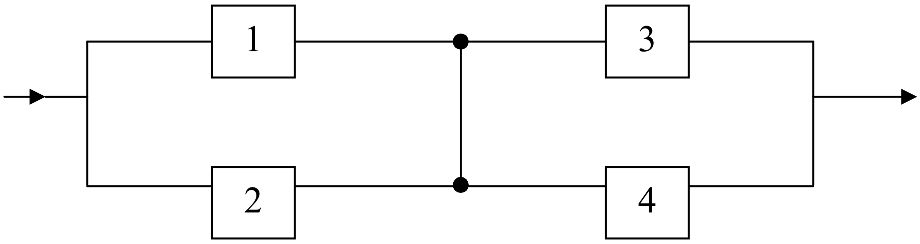


Рис. 2.3. Мостиковая схема замещения

2.2. Имеется система, состоящая из N = 80 элементов, соединенных логически последовательно. Параметр потока отказов системы $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ ч$^{-1}$. С помощью резервирования требуется обеспечить надежность системы в течение t = 2000 ч $P_{\text{тр}}(2000) \geq 0{,}94$.

2.3. Система состоит из трех устройств. Интенсивность отказов электронного устройства равна $\lambda_1 = 0{,}16 \cdot 10^{-3}$ 1/ч = *const*. Интенсивности отказов двух электромеханических устройств линейно зависят от времени и определяются следующими формулами

$$\lambda_2 = 0{,}23 \cdot 10^{-4} t \cdot 1/\text{ч}; \qquad \lambda_3 = 0{,}06 \cdot 10^{-6} t^{2.6} \cdot 1/\text{ч}.$$

Необходимо рассчитать вероятность безотказной работы изделия в течение 100 ч.

2.4. Система состоит из 10 равнонадежных элементов, среднее время безотказной работы элемента t_i = 1000 ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности для элементов системы и основная и резервная системы равнонадежны. Необходимо найти среднее время безотказной работы системы T, а также частоту отказов $a(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_C(t)$ в момент времени t = 50 ч в следующих случаях:

а) нерезервированной системы,

б) дублированной системы при постоянно включенном резерве.

2.5. Нерезервированная система управления состоит из n = 5000 элементов. Для повышения надежности системы предполагается провести общее резервирование элементов. Чтобы приближенно оценить возможность достижения заданной вероятности безотказной работы системы $P_C(t)$ = 0,9 при t =10 ч, необходимо рассчитать среднюю интенсивность отказов одного элемента при предположении отсутствия последействия отказов.

2.6. Нерезервированная система управления состоит из n = 4000 элементов. Известна требуемая вероятность безотказной работы системы $P_C(t)$ = 0,9 при t = 100 ч. Необходимо рассчитать допустимую среднюю интенсивность отказов одного элемента, считая элементы равнонадежными, для того чтобы приближенно оценить достижение заданной вероятности безотказной работы при отсутствии профилактических осмотров в следующих случаях:

а) резервирование отсутствует;

б) применено общее резервирование.

2.7. Система состоит из 10 равнонадежных элементов, среднее время безотказной работы элемента t_i = 1000 ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности для элементов системы и основная и резервная системы равнонадежны. Необходимо найти вероятность безотказной работы системы $P_C(t)$, среднее время безотказной работы системы T, а также частоту отказов $a(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_C(t)$ в момент времени t = 50 ч в следующих случаях:

а) нерезервированной системы,

б) системы при включении резерва по способу замещения (ненагруженный резерв).

2.8. Вероятность безотказной работы преобразователя постоянного тока в переменный в течение времени t = 1000 ч равна 0,95, т. е. $P(1000)$ = 0,95. Для повышения надежности системы электроснабжения на объекте имеется такой же преобразователь, который включается в работу при отказе первого (режим ненагруженного резерва). Требуется рассчитать вероятность безотказной работы и среднее время безотказной работы системы, состоящей из двух преобразователей, а определить интенсивность отказов $\lambda_C(t)$ системы.

2.9. Передающее устройство состоит из одного работающего передатчика ($\lambda = 8 \cdot 10^{-3}$ 1/ч) и одного передатчика в облегченном резерве ($\lambda_0 = 8 \cdot 10^{-4}$ 1/ч). Требуется определить вероятность безотказной работы устройства $P_C(t)$, среднее время безотказной работы устройства T. Определить $P_C(t)$ при $t = 20$ ч.

2.10. Устройство автоматического поиска неисправностей состоит из двух логических блоков. Среднее время безотказной работы этих блоков одинаково и для каждого из них равно T = 200 ч. Требуется определить среднее время безотказной работы устройства T для двух случаев:

а) имеется ненагруженный резерв всего устройства;

б) имеется ненагруженный резерв каждого блока.

2.11. Нерезервированная система управления состоит из n = 5000 элементов. Для повышения надежности системы предполагается провести раздельное резервирование элементов. Чтобы приближенно оценить возможность достижения заданной вероятности безотказной работы системы $P_C(t) = 0{,}9$ при t = 10 ч, необходимо рассчитать среднюю интенсивность отказов одного элемента при предположении отсутствия последействия отказов.

2.12. Нерезервированная система управления состоит из n = 4000 элементов. Известна требуемая вероятность безотказной работы системы $P_C(t) = 0{,}9$ при t = 100 ч. Необходимо рассчитать допустимую среднюю интенсивность отказов одного элемента, считая элементы равнонадежными, для того чтобы приближенно оценить достижение заданной вероятности безотказной работы при отсутствии профилактических осмотров в следующих случаях:

а) резервирование отсутствует;

б) применено раздельное (поэлементное) резервирование.

2.13. В радиопередатчике, состоящем из трех равнонадежных каскадов ($n = 3$) применено раздельное дублирование каждого каскада. Интенсивность отказов каскадов равна $\lambda = 5 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. Рассчитать вероятность безотказной работы $P_C(t)$ в течение времени t = 100 ч и среднее время безотказной работы m_{tc} радиопередатчика.

2.14. Для повышения точности измерения некоторой величины применена схема группирования приборов из пяти по три, т.е. результат измерения считается верным по показанию среднего (третьего) прибора. Требуется найти вероятность безотказной работы $P_C(t)$, среднее время безотказной работы T такой системы, а также и интенсивность отказов $P_C(t)$ системы, если интенсивность отказов каждого прибора $\lambda = 0{,}4 \cdot 10^{-3}$ 1/ч.

2.15. Интенсивность отказов измерительного прибора $\lambda = 0{,}83 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Для повышения точности измерения применена схема группирования из трех по два ($k = 1/2$). Необходимо определить вероятность безотказной работы схемы $P_C(t)$, среднее время безотказной работы схемы T, интенсивность отказов $\lambda_C(t)$ схемы.

2.16. Интенсивность отказов измерительного прибора $\lambda = 0{,}83 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Для повышения точности измерения применена схема группирования из пяти по три ($k = 2/3$). Необходимо определить вероятность безотказной работы схемы $P_C(t)$, интенсивность отказов $\lambda_C(t)$ схемы.

2.17. Блок телеметрии включает в себя два одинаковых приемника. Интенсивность отказов каждого приемника составляет $\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. Имеется один приемник в ненагруженном скользящем резерве. Определить вероятность безотказной работы $P_C(t)$ резервированной системы, среднее время безотказной работы T системы, интенсивность отказов $\lambda_C(t)$. Определить $P_C(t)$ при t = 250 ч. Определить $P_C(t)$, когда резерв отсутствует.

2.18. Радиорелейная станция содержит два приемопередатчика, один из которых используется по назначению, а второй находится в ненагруженном резерве. Определить среднее время безотказной работы станции T при условии, что для каждого приемопередатчика $\lambda_1 = 2 \cdot 10^3$ 1/ч; $\lambda_2 = 0{,}2$ 1/ч.

2.19. Предлагается вариант структурной схемы объекта в смысле надежности и исходные параметры. Для заданного варианта структурной схемы объекта определить аналитические соотношения для расчета показателей надежности: вероятность безотказной работы; вероятность отказа; среднюю наработку на отказ. Построить графики функций $P(t)$, $Q(t)$, $\lambda(t)$.

2.20. За наблюдаемый период эксплуатации в аппаратуре было зафиксировано 8 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

2.21. Интенсивность отказов λ_C в одной из подсистем автоматизированной системы обработки информации и управления (АСОИУ), которая представляет собой сложную восстанавливаемую систему, есть величина постоянная и равная 0,015 1/ч. Среднее время восстановления равно 100 ч. Необходимо вычислить вероятность застать систему в исправном состоянии в момент времени t = 10 ч.

2.22. Коэффициент готовности одной из подсистем АСОИУ, которая представляет собой сложную восстанавливаемую систему, равен 0,9. Среднее время ее восстановления составляет 100 ч. Требуется найти вероятность застать систему в исправном состоянии в момент времени t = 12 ч.

2.23. В процессе эксплуатации 100 восстанавливаемых изделий возникали отказы, которые фиксировались в интервалах времени Δt = 100 ч. Число отказов n за время эксплуатации в течение 1000 ч приведено в табл. 3.1. Требуется определить вероятность безотказной работы изделий в течение 1000 ч, вычислить интенсивность отказов и построить график.

Таблица 2.1

Число отказов за время эксплуатации

Δt_i, ч	0…100	101…200	201…300	301…400	401…500
n	2	4	6	7	8
Δt_i, ч	501…600	601…700	701…800	801…900	901…1000
n	9	9	10	10	10

2.24. При увеличении напряжения в два раза может произойти разрыв электрической цепи вследствие выхода из строя одного из трех последовательно соединенных элементов соответственно с вероятностями 0,3, 0,4 и 0,6. Определить вероятность того, что при этом не будет разрыва цепи. Как изменится искомая вероятность, если не будет первого элемента?

2.25. Вероятность наступления события в каждом опыте одинакова и равна 0,2. Опыты проводятся последовательно до наступления события. Определить вероятность того, что придется проводить четвертый опыт.

2.26. Электрическая цепь между точками A и B составлена по схеме, которая представлена на рис. 2.2. Выход из строя за время t различных элементов цепи − независимые события, имеющие следующие вероятности:

Номер элемента	1	2	3	4	5
Вероятность выхода из строя	0,6	0,5	0,4	0,7	0,9

Определить вероятность разрыва цепи.

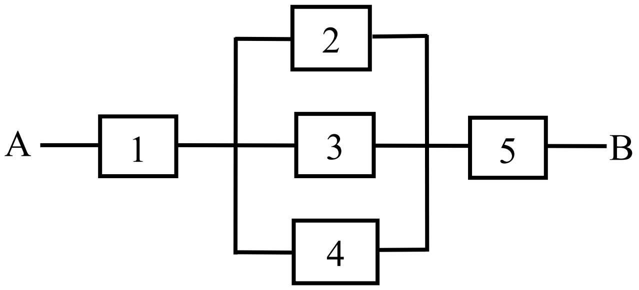


Рис. 3.15. Схема электрической цепи к вопросу 3.25

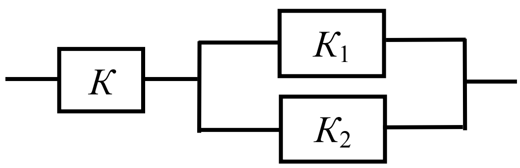


Рис. 3.16. Схема электрической цепи к вопросу 3.26

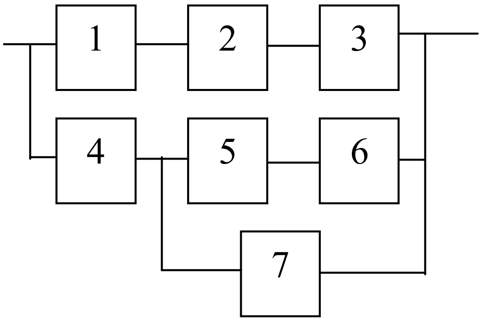
2.27. Разрыв электрической цепи может произойти вследствие выхода из строя элемента К или двух элементов $К_1$, и $К_2$, (рис. 2.3). Вероятность выхода из строя элемента К равна 0,3, а для каждого из элементов $К_1$ и $К_2$ эти вероятности равны 0,2. Определить вероятность разрыва электрической цепи.

2.28. Имеется вариант структурной схемы объекта в смысле надежности и исходные параметры, характеризующие свойства элементов исследуемого объекта, определить:

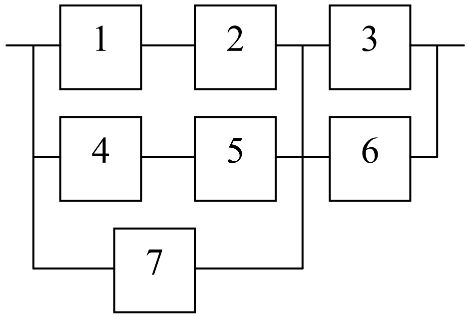
а) для заданного варианта структурной схемы объекта показатели надежности $P(t)$, $Q(t)$, T, $\lambda(t)$.

б) построить графики функций $P(t)$, $Q(t)$, $\lambda(t)$.

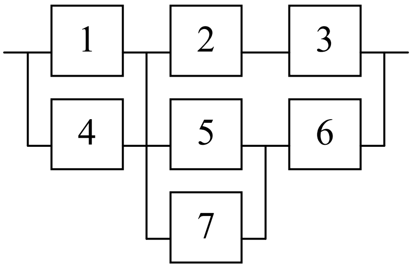
Варианты структурных схем объектов с последовательно-параллельным соединением элементов



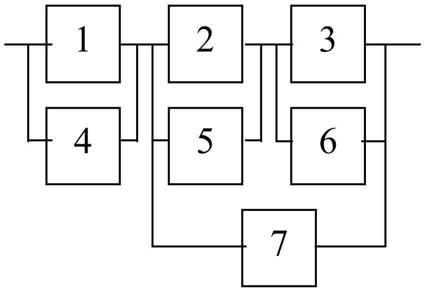
B1



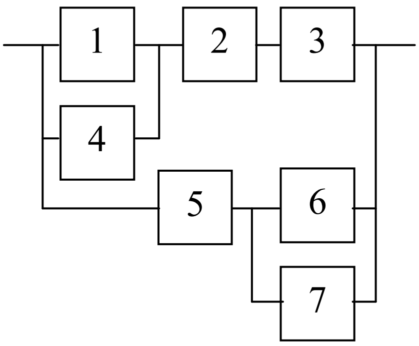
B2



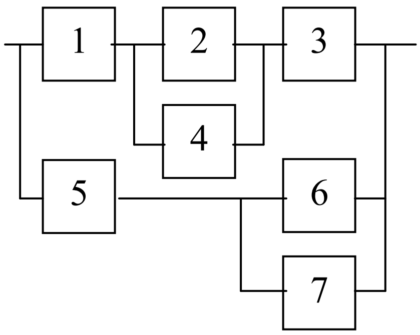
B3



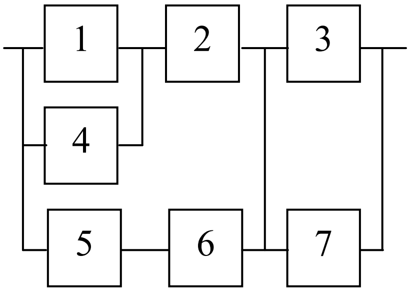
B4



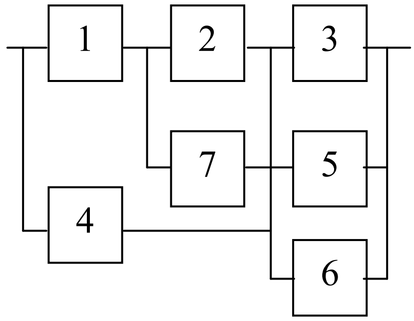
B5



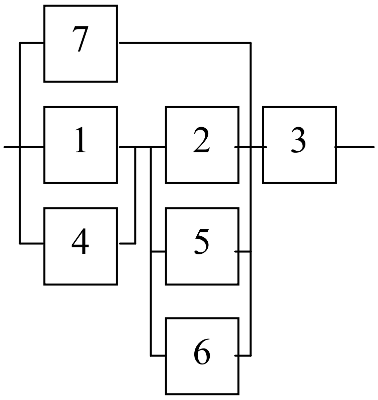
B6



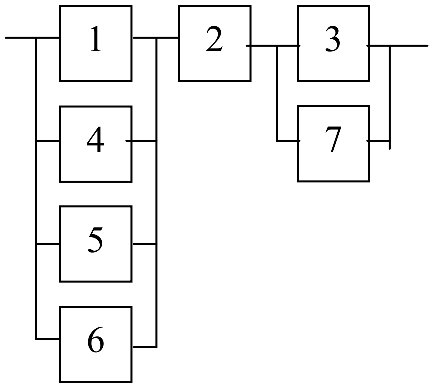
B7



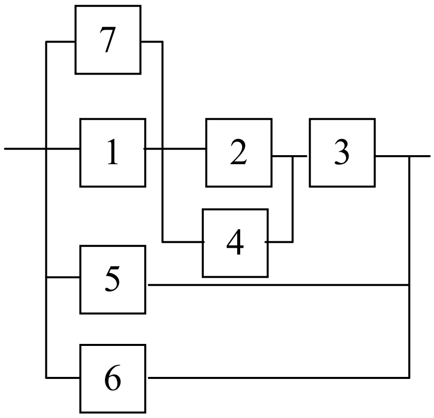
B8



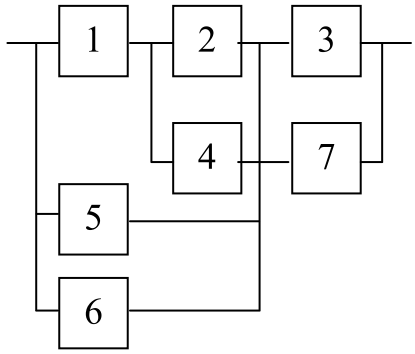
B9



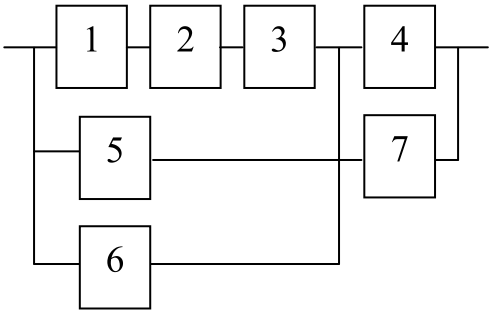
B10



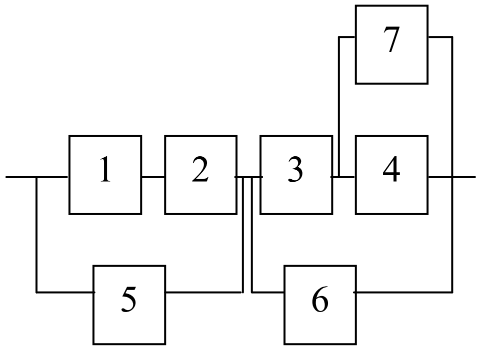
B11



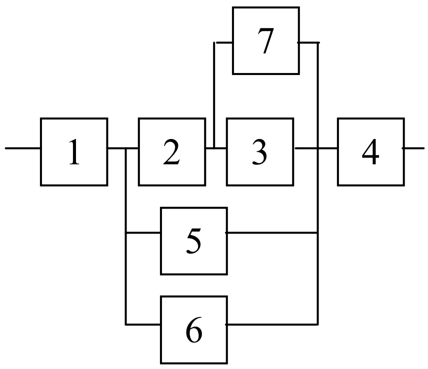
B12



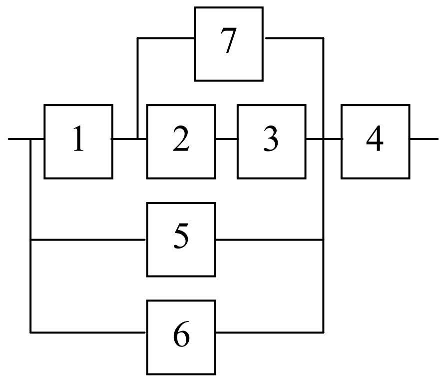
B13



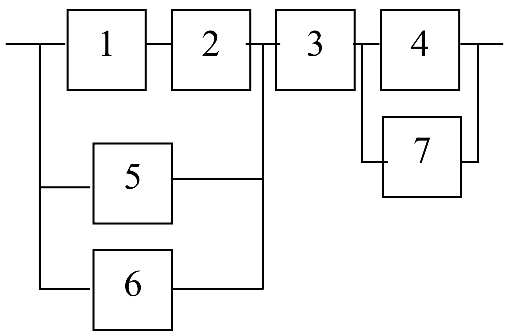
B14



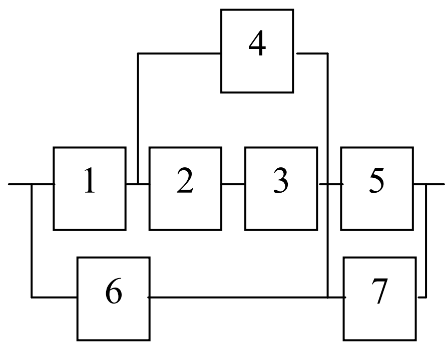
B15



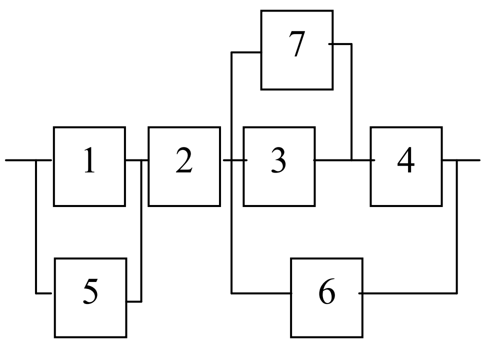
B16



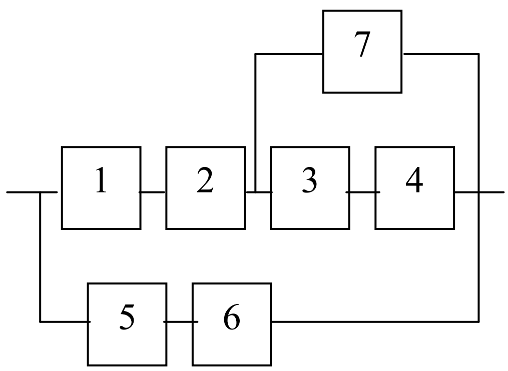
B17



B18



B19



B20

Таблица 2.2

Варианты численных значений интенсивностей отказов
отдельных элементов

Номер варианта	Интенсивности отказов элементов, $\lambda_i 10^{-6}$ 1/час						
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4	7	3	2	6	5
2	6	2	1	5	3	4	7

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
3	7	5	2	4	6	1	3
4	3	6	4	7	5	2	1
5	5	3	6	1	4	7	2
6	8	7	10	6	9	12	11
7	12	9	8	11	7	11	6
8	11	10	7	9	12	6	8
9	9	6	12	8	11	10	7
10	7	12	9	10	6	8	11
11	10	13	14	15	12	11	9
12	14	15	10	9	13	12	11
13	12	10	11	13	14	9	15
14	11	9	13	12	10	15	14
15	14	13	9	11	12	10	15
16	1	3	5	7	9	11	13
17	5	11	9	1	13	7	3
18	9	1	7	3	5	13	11
19	7	5	1	11	9	3	13
20	11	13	9	5	1	7	3

Вопросы для самоконтроля

1. Как Вы понимаете, что такое последовательное соединение элементов с позиций надежности?
2. Как Вы понимаете, что такое параллельное соединение элементов с позиций надежности?
3. Что такое мостиковое соединение элементов?
4. Что представляет собой приближенный метод преобразования звезды в треугольник и обратно?
5. Что такое резервирование?
6. Какие существуют виды резервирования?
7. Что такое кратность резервирования?
8. Достоинства и недостатки резервирования постоянного и замещением.
9. Какие различают резервы в зависимости от режима работы резервных элементов?
10. Достоинства и недостатки нагруженного, ненагруженного и облегченного резервов.

Задачи к главе «Методы надежности при исследовании систем электроснабжения»

Задача 3.1. Если система состоит из двух параллельно работающих элементов, то она может находиться в состояниях 0, 1 и 2 (рис. 3.1). Состояние 0 − оба элемента, входящие в систему, работоспособны; состояние 1 − один из элементов находится в неработоспособном состоянии; состояние 2 − оба элемента находятся в отказе. Из *i*-го состояния в *j*-е объект переходит с постоянной интенсивностью отказа λ_{ij}, обратно − с постоянной интенсивностью восстановления μ_{ij}.

3.1. Техническое устройство *S* состоит из двух узлов 1 и 2, каждый из которых может в ходе работы устройства выйти из строя. Возможны следующие состояния системы: S_1 – оба узла работают; S_2 – первый узел отказал, второй работает; S_3 – второй узел отказал, первый работает; S_4 – оба узла вышли из строя. Построить граф состояний.

3.2. Найти вероятность безотказной работы системы, элементы которой соединены по схеме (рис. 3.2), если вероятность безотказной работы каждого элемента равна 0,9.

3.3. Электрическая система задана структурной схемой (рис.3.3), где $\lambda_1 = 0{,}5 \cdot 10^{-4}$; $\lambda_2 = 0{,}8 \cdot 10^{-4}$; $\lambda_3 = 0{,}3 \cdot 10^{-4}$; $\lambda_4 = 10^{-3}$.

Определить вероятность безотказной работы, используя метод минимальных путей и сечений

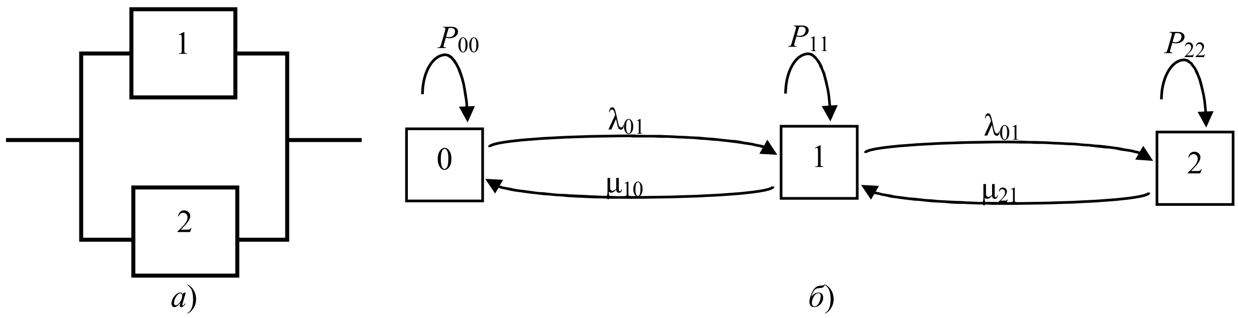


Рис. 3.1. Схема резервированного объекта (*а*) и граф его состояний (*б*)

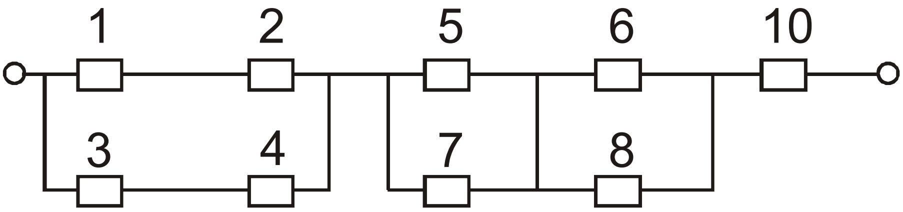


Рис. 3.2. Структурная схема надежности системы

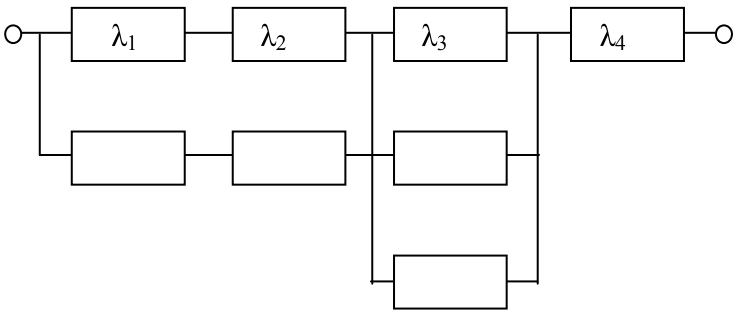


Рис. 3.3. Структурная схема электрической системы

3.4. Определить вероятность безотказной работы в течение 4 лет системы, схема замещения (рис. 3.4) которой по надежности представляет собой мостиковую. Интенсивность отказов всех элементов одинакова: $\lambda_1 = ... = \lambda_4 = 0{,}01$ год$^{-1}$.

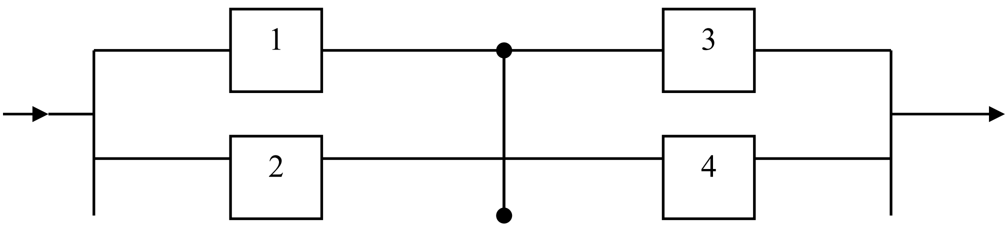


Рис. 3.4. Схема замещения

3.5. Какой элемент характеризует граф состояний и переходов, изображенный на рис.3.5?

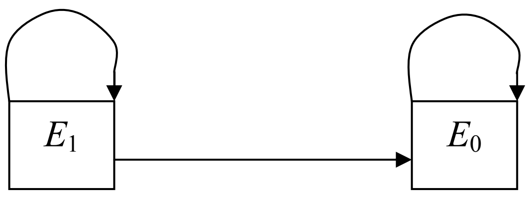


Рис. 3.5. Граф состояний: E_0 – неработоспособное; E_1 – работоспособное состояние

3.6. Построить граф состояний и переходов системы, состояний из трех независимых и восстанавливаемых элементов.

3.7. Для условий задачи 2 построить зависимость работоспособности от состояний системы, если отказ первого элемента приводит к снижению работоспособности на 10 %, второго − на 20 %, третьего − на 30 %. Отказ первого и второго – на 40 %, первого и третьего – на 50 %, второго и третьего – на 60 %.

3.8. Для условия задачи 2 и 3 записать условие безотказности системы, работоспособность которой составляет 80 % (в неработоспособном состоянии находится второй элемент).

3.9. Для условий задачи 2 и 3 записать условия не восстанавливаемости, если система находится в состоянии 50 % работоспособности.

3.10. Студент может добраться до университета несколькими путями:

а) сначала автобусом до метро, а потом пересесть на метро или на маршрутное такси до университета;

б) сначала трамваем до троллейбуса, а потом пересесть на троллейбус и до университета;

в) от дома до университета на такси.

Составить логические функции работоспособности и неработоспособности транспортной системы для данного студента.

3.11. По графу состояний и переходов системы, изображенному на рис. 3.6, составить схему дифференциальных уравнений и подобрать пример соответствующей системы.

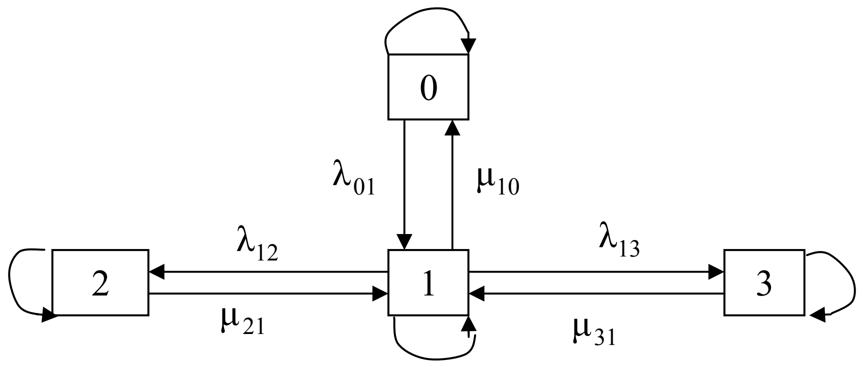


Рис. 3.6. Граф состояний и переходов системы

3.12. Студент купил кроссовки. По опыту студентов они требуют ремонта в среднем через полгода. Ремонт в мастерской занимает в среднем неделю. Составить граф состояний и переходов и записать систему уравнений для определения различных вероятностей (отказ одной кроссовки, второй, обоих и т.д.).

3.13. Система S , которая может находиться в одном из пяти возможных состояний: S_1 – исправна, работает; S_2 – неисправна, ожидает осмотра; S_3 – осматривается; S_4 – ремонтируется; S_5 – списана, не работает.

Написать дифференциальные уравнения для предельных вероятностей состояний, представленных графов (рис. 3.7).

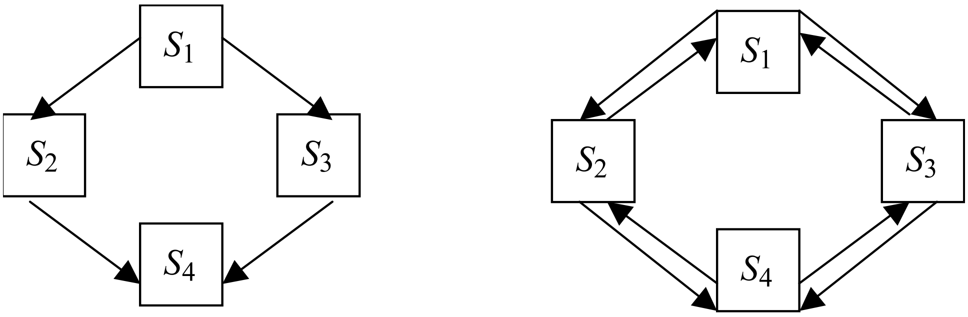


Рис. 3.7. Граф состояний

3.14. Производится три выстрела по цели, которая может быть в тех же четырех состояниях S_1, S_2, S_3, S_4, но вероятности перехода для трех последовательных выстрелов различны и заданы тремя матрицами:

$$\left\|P_{ij}^{(1)}\right\| = \begin{Vmatrix} 0{,}3 & 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0 & 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0{,}3 & 0{,}7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}, \quad \left\|P_{ij}^{(2)}\right\| = \begin{Vmatrix} 0{,}1 & 0{,}4 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}5 & 0{,}3 \\ 0 & 0 & 0{,}2 & 0{,}8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix},$$

$$\left\|P_{ij}^{(3)}\right\| = \begin{Vmatrix} 0{,}05 & 0{,}3 & 0{,}4 & 0{,}25 \\ 0 & 0{,}1 & 0{,}6 & 0{,}3 \\ 0 & 0 & 0{,}1 & 0{,}9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}.$$

В начальный момент цель находится в состоянии S_1. Найти вероятности состояний после трех выстрелов и показать граф переходов.

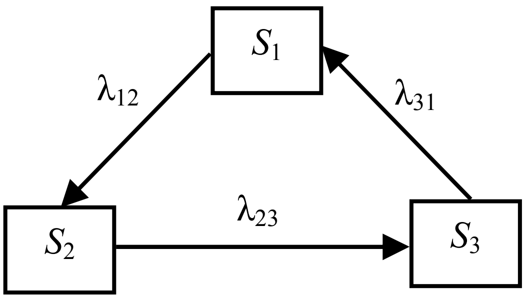


Рис. 3.8. Граф состояний системы

3.15. Написать алгебраические уравнения для предельных вероятностей состояний системы S, граф состояний которой дан на рис. 3.8. Решить эти уравнения.

3.16. Имеется восстанавливаемая система, у которой параметр потока отказов $\lambda = 10^{-5}$ 1/ч = const, средняя интенсивность восстановления $\mu = 10^{-2} \cdot 1$/ч, $T_в = 100$ ч; $T_в = 50$ ч. Определить, на сколько повысится надежность этой системы за счет более высокой организации работы ремонтного персонала, если интенсивность восстановления системы повысилась вдвое (сократилось вдвое время восстановления).

3.17. Система образована последовательно-параллельным соединением невосстанавливаемых блоков (см. рис. 3.9) с одинаковой и постоянной интенсивностью отказов каждого блока. Записать выражения для расчета:

1) вероятности безотказной работы и вероятности отказа;
2) средней наработки на отказ.

Вычислить данные характеристики системы при $\lambda = 0{,}4 \cdot 10^{-3}$ 1/ч и $\Delta t = 100$ ч.

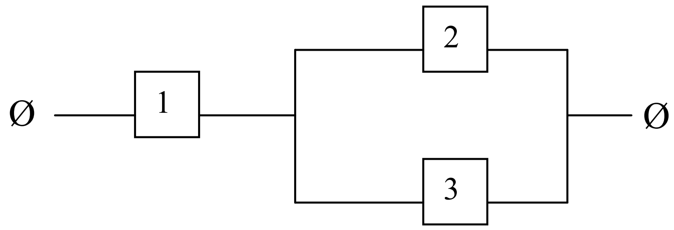


Рис. 3.9. Последовательно-параллельное соединение невосстанавливаемых блоков системы

3.18. Для схемы соединения невосстанавливаемых блоков системы, показанной на рис. 3.10, записать формулу расчета вероятности безотказной работы и среднего времени наработки на отказ. Полагая, что все элементы одинаковы и их $\lambda = 0{,}4 \cdot 10^{-3}$ 1/ч, рассчитать эти показатели для $t = 100$ ч.

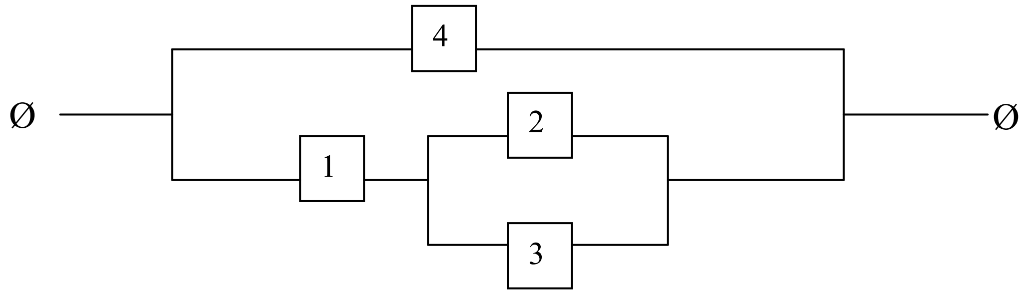


Рис. 3.10. Схема соединения невосстанавливаемых блоков системы

3.19. Система управления состоит из трех блоков. Наработка на отказ блоков составляет 1100, 960, 980 ч, а среднее время восстановления блоков 50, 40, 42 ч. Предполагая отказы блоков независимыми и закон распределения времени отказов экспоненциальным, определить:

1) вероятность безотказной работы системы за период времени 100 часов;
2) интенсивность отказов и восстановления системы;
3) частоту отказов;
4) коэффициенты готовности и простоя.

Принять, что при отказе любого блока система неработоспособна.

3.20. Радиостанция включает приемный и передающий блоки, интенсивности отказов которых одинаковы и равны $\lambda = 10^{-2}$ 1/ч, а интенсивность восстановления μ = 2 1/ч. Станцию обслуживает одна ремонтная бригада. При неработоспособности одного из блоков радиостанция будет неработоспособной, при этом работоспособный блок не включается, но в нем могут произойти отказы. Определить значения коэффициентов готовности и простоя радиостанции.

3.21. Определить вероятность безотказной работы схемы (рис. 3.11) относительно узла IV без учета преднамеренных отключений элементов, если известны средние вероятности отказовых состояний элементов q_1, q_2, q_3, …, q_8. Отказы узловых пунктов не учитываем. Предполагается, что все элементы схемы независимы в смысле вероятности отказов. Пропускные способности элементов по мощности не ограничены.

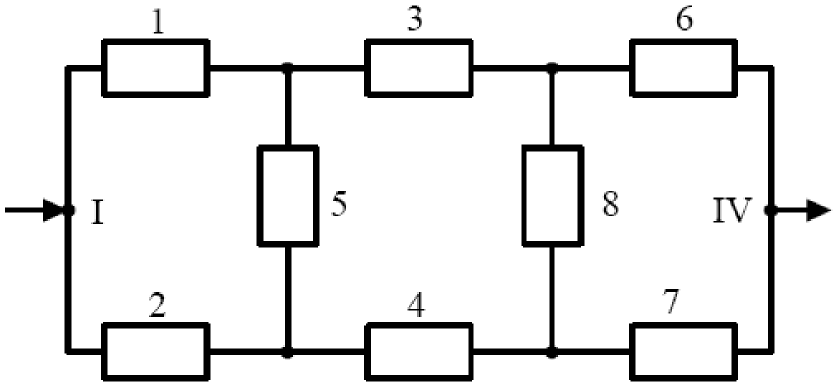


Рис. 3.11. Схема

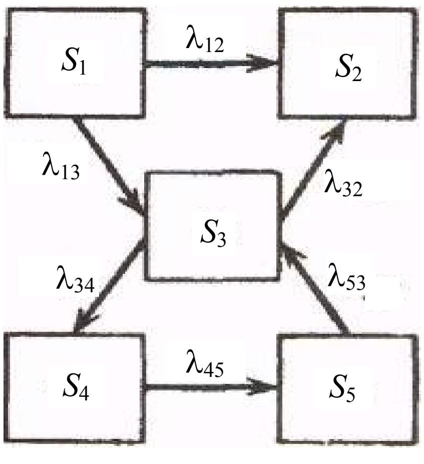


Рис. 3.12. Размеченный граф состояний системы для примера 4.22

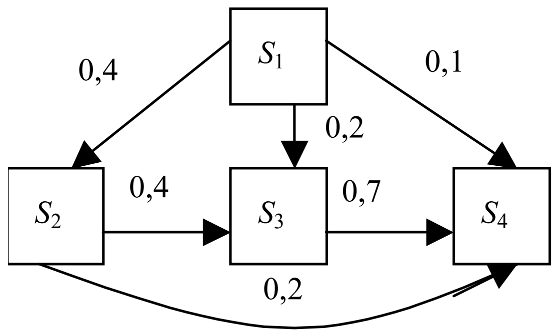


Рис. 3.13. Граф состояний системы

3.22. Размеченный граф состояний системы S имеет вид, показанный на рис.3.12. Написать систему дифференциальных уравнений Колмогорова и начальные условия для решения этой системы, если известно, что в начальный момент система находится в состоянии S_1.

3.23. По некоторой цели ведется стрельба четырьмя выстрелами в моменты времени t_1, t_2, t_3, t_4 .

Возможные состояния цели (системы S): S_1 – цель невредима; S_2 – цель незначительно повреждена; S_3 – цель получила существенные повреждения; S_4 – цель полностью поражена (не может функционировать).

Размеченный граф состояний системы показан на рис. 3.13. В начальный момент цель находится в состоянии S_1 (не повреждена). Определить вероятности состояний цели после четырех выстрелов.

Вопросы для самоконтроля

1.Что такое математическая модель?

2. Какие наиболее распространенные математические модели применяются в теории надежности?

3. Охарактеризуйте метод минимальных путей и сечений?

4. Что представляет собой граф переходов и состояний?

5. Как вы понимаете, что такое граф, замкнутый граф, путь графа, ребра графа?

6. Что такое минимальный путь?

7. Что такое минимальное сечение?

8. Дайте определение Марковскому процессу.

9. Что позволяет определить метод, основанный на использовании Марковских процессов, и какие допущения он предполагает?

10.Что такое случайный процесс с дискретным временем?

11. Что такое случайный процесс с непрерывным временем?

12. Как Вы понимаете вероятность перехода Марковского процесса из одного состояния в другое?

13. Правила составления дифференциальных уравнений Колмогорова

Задачи к главе «Надежность объектов при испытаниях и эксплуатации»

Пример 1.Пусть дан вариационный ряд случайной величины *X*. Уровень значимости α равен 0,05. Проверить с помощью критерия χ^2.

Вариационный ряд случайной величины *x* имеет вид:

–6,237 –6,229 –5,779 –5,139 –4,950 –4,919 –4,636 –4,560 –4,530 –4,526 –4,523 –4,511 –4,409 –4,336 –4,259 –4,055 –4,044 –4,006 –3,972 –3,944 –3,829 –3,794 –3,716 –3,542 –3,541 –3,431 –3,406 –3,384 –3,307 –3,181 –3,148 –3,124 –3,116 –2,892 –2,785 –2,734 –2,711 –2,637 –2,633 –2,428 –2,381 –2,339 –2,276 –2,222 –2,167 –2,111 –2,034 –1,958 –1,854 –1,803 –1,774 –1,755 –1,745 –1,713 –1,709 –1,566 –1,548 –1,480 –1,448 –1,353 –1,266 –1,229 –1,179 –1,130 –1,102 –1,060 –1,046 –1,035 –0,969 –0,960 –0,903 –0,885 –0,866 –0,865 –0,774 –0,721 –0,688 –0,673 –0,662 –0,626 –0,543 –0,445 –0,241 –0,174 –0,131 0,115 0,205 0,355 0,577 0,591 0,795 0,986 1,068 1,099 1,195 1,540 2,008 2,160 2,534 2,848.

Решение. Выдвигаем гипотезу о том, что случайная величина *X* распределена по нормальному закону.

$$H_0 : f_0(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad F_0(x) = 0{,}5 + \Phi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right);$$

$$H_1 : f(x) \neq N(m, \sigma).$$

Определим оценки неизвестных параметров *m* и нормального закона распределения: $m = \bar{x} = -1{,}7$, $\sigma = S_0 = 1{,}98$.

Значение критерия вычисляем по формуле (6.5):

$$\chi^2 = 100\sum_{j=1}^{10} \frac{(p_j - p_j^*)^2}{p_j}.$$

При проверке гипотезы используем равновероятностную гистограмму. В этом случае получим

$$p_j^x = \frac{v_j}{n} = \frac{10}{100} = 0{,}1.$$

Теоретические вероятности pi рассчитываем по формуле (6.6)

$$p_j = F_0(B_j) - F_0(A_j) = \Phi\left(\frac{B_j - \overline{x}}{S_0}\right) - \Phi\left(\frac{A_j - \overline{x}}{S_0}\right):$$

$$p_1 = \Phi((-4{,}5245 + 1{,}7)/1{,}98) - \Phi((-\infty + 1{,}7)/1{,}98) = \Phi(-1{,}427) - \Phi(-\infty) = 0{,}078\,;$$

$$p_2 = \Phi((-3{,}8865 + 1{,}7)/1{,}98) - \Phi((-4{,}5245 + 1{,}7)/1{,}98) = \Phi(-1{,}104) + 0{,}845 = 0{,}058;$$

$$p_3 = 0{,}094\,; \quad p_4 = 0{,}135\,; \quad p_5 = 0{,}118\,; \quad p_6 = 0{,}097\,; \quad p_7 = 0{,}073\,; \quad p_8 = 0{,}059\,;$$

$$p_9 = 0{,}174\,; \quad p_{10} = \Phi((+\infty + 1{,}7)/1{,}98) - \Phi((0{,}6932 + 1{,}7)/1{,}98) = 0{,}114\,.$$

После этого проверяем выполнение контрольного соотношения:

$$\left|1 - \sum_{j=1}^{M} p_i\right| < 0{,}01\,,$$

тогда

$$\chi^2 = 100 \cdot \left(\frac{(0{,}078 - 0{,}1)^2}{0{,}078} + \frac{(0{,}064 - 0{,}1)^2}{0{,}064} + L + \frac{(0{,}114 - 0{,}1)^2}{0{,}114} \right) =$$
$$= 100 \cdot (0{,}0062 + 0{,}0304 + 0{,}0004 + 0{,}0091 + 0{,}0028 + 0{,}0001 + 0{,}0100 +$$
$$+ 0{,}0285 + 0{,}0315 + 0{,}0017) = 100 \cdot 0{,}1207 = 12{,}07.$$

После этого из таблицы 1.1 прил.1 распределения χ^2 выбираем критическое значение $\chi^2 = \chi^2_{\alpha,k} = \chi^2_{0{,}05;\,7} = 14{,}07$. Так как $\chi^2 < 14{,}07$, то гипотеза H_0 принимается.

Пример 2. По критерию Колмогорова проверить гипотезу о равномерном законе распределения $R(0{,}5;\ 5{,}25)$ случайной величины по выборке объема 10: 2,68 1,83 2,90 1,03 0,90 4,07 5,05 0,94 0,71 1,16, уровень значимости $\alpha = 0{,}05$.

Решение. Вариационный ряд данной выборки имеет вид:

0,71 0,90 0,94 1,03 1,16 1,83 2,68 2,90 4,07 5,05.

После этого строим график эмпирической функции распределения $F^*(x)$ (рис. 4.1).

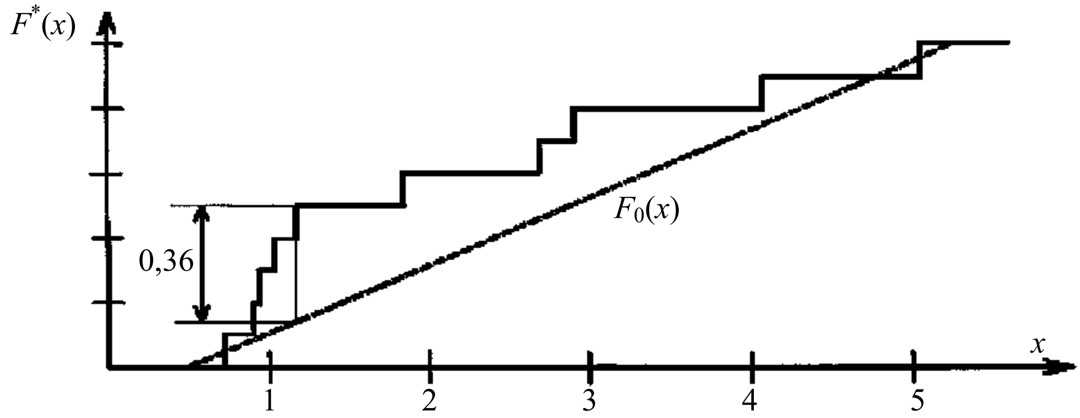


Рис. 4.1. График эмпирической функции распределения $F^*(x)$

Теоретическая функция распределения $F_0(x)$ равномерного закона $R(0{,}5;5{,}25)$ равна

$$F^*(x) = \begin{cases} 0, & x < 0{,}5; \\ (x-0{,}5)/(5{,}25-0{,}5), & 0{,}5 \le x < 5{,}25; \\ 1, & x > 5{,}25. \end{cases}$$

Максимальная разность по модулю между графиками $F^*(x)$ и $F_0(x) \cdot Z = 0{,}36$ при $x = 1{,}16$.

Вычислим значение критерия Колмогорова $\lambda = \sqrt{n} \cdot Z = \sqrt{10} \cdot 0{,}36 = 1{,}14$. Из таблицы 1.3. прил.1 выбираем критическое значение $\lambda_\gamma = \lambda_{1-\alpha} = \lambda_{0{,}95} = 1{,}36$. Так как λ < 1,36, гипотеза о равномерном законе распределения принимается.

4.1. С помощью критерия Колмогорова проверить гипотезу о законе распределения случайной величины по выборке, где вариационный ряд случайной величины x имеет вид:

2,60 2,62 2,74 2,76 3,17 3,18 3,29 3,35 3,40 3,42 3,46 3,54 3,68
4,06 4,07 4,09 4,15 4,23 4,24 4,28 4,30 4,43 4,46 4,68 4,77 5,19
5,22 5,45 5,51 5,57 5,59 5,64 5,66 5,67 5,73 5,76 5,88 6,11 6,13
6,23 6,55 6,70 7,30 7,62 7,72 7,80 7,91 7,94 7,97 8,00 8,10 8,47
8,63 8,80 8,84 8,97 9,01 9,02 9,20 9,22 9,41 9,57 9,65 9,92 9,98
10,02 10,07 10,16 10,24 10,27 10,38 10,62 10,63 10,73 10,96 10,98 10,99 11,00
11,01 11,11 11,23 11,35 11,56 11,58 11,73 11,77 11,99 12,10 12,13 12,18
12,24 12,53 12,57 12,96 12,98 13,04 13,22 13,35 13,45.

4.2. По критерию χ^2 проверить гипотезу о законе распределения по выборке:

8,60 6,54 3,26 5,96 4,68 6,55 11,33 9,50 8,58 7,16 10,84 5,81 2,92
8,96 12,60 11,08 4,52 8,06 2,42 10,05 10,29 10,03 4,77 9,46 7,26 2,62

4,49	11,80	11,68	8,61	12,82	5,36	7,85	11,69	11,00	5,07	2,23	10,14	9,89
10,53	5,10	7,27	6,94	6,53	11,08	6,61	9,27	5,83	9,56	7,51	5,98	8,64
5,69	10,54	10,20	12,11	2,92	12,31	5,95	2,82	7,69	4,30	11,17	6,99	12,78
3,64	11,80	8,61	3,80	7,42	5,09	7,68	3,98	10,59	8,40	12,76	4,37	5,88
9,94	10,46	2,75	4,22	11,56	10,43	3,66	10,14	6,53	10,83	5,36	6,67	4,83
9,66	2,30	7,04	7,88	8,30	2,22	8,71	7,79	9,82.				

4.3. Определить продолжительность испытаний, которые должны подтвердить с доверительной вероятностью 0,9, что не ниже 500 часов, если число испытуемых объектов равно 10.

4.4. Определить число объектов *N,* которые необходимо поставить на испытания по плану [*NUM*] при условии, что допустимая ошибка в определении T_0 равна 20 % от T_0 с доверительной вероятностью 0,96. Предполагаемая наработка на отказ T_0 = 1000 ч.

4.5. Определить продолжительность испытаний для объектов, обладающих T_0 = 1000 ч при условии, что вероятность отказа объекта за время испытания должна быть не меньше 0,9.

4.6. Определить число объектов *N* для испытаний, если известно, что $Q(t)$ = 100 ч, распределение T_0 – нормальное, допустимая ошибка 20 часов, вероятность того, что ошибка определения T_0 не выйдет за допустимые границы, должна быть не меньше 0,96.

4.7. В результате наблюдений за эксплуатацией неремонтируемых однотипных устройств зафиксировано 12 отказов. После двенадцатого отказа наблюдения прекращаются. Значения наработки до отказа (в часах): 58, 110, 117, 198, 387, 570, 610, 720, 798, 820, 840, 921. Определить среднюю наработку до отказа заданного типа устройства, предполагая экспоненциальный закон распределения времени наработки до отказа.

4.8. Построить график испытаний и определить справедливость предположения об экспоненциальном распределении времени до отказа, при следующих исходных данных: предельное значение вероятности отказа 0,98; предельное время испытаний равно 700 часов. На испытание по плану *NUT* поставлено 18 изделий; за 400 часов отказало 15 изделий в следующие интервалы времени:

t ………………	100	200	300	400
$n(t)$ ……… …….	5	5	3	2

4.9. В результате наблюдений за эксплуатацией неремонтируемых однотипных устройств N = 100 зафиксировано 12 отказов. После двенадцатого отказа наблюдения прекращаются. Значения наработки до отказа: 58, 110, 117, 198, 387, 570, 610, 720, 798, 820, 840, 921 (в часах). Определить среднюю наработку до отказа заданного типа устройства, предполагая экспоненциальный закон распределения времени наработки до отказа.

Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет математическая модель, и для каких целей она используется в задачах надежности?
2. Из каких условий выбирается закон распределения наработки до отказа объекта?
3. Что такое критерий согласия?
4. В чем заключается постановка задачи при испытаниях объектов на надежность?
5. Что представляет собой процедура формирования статистического ряда по результатам испытаний?
6. Что такое статистическая гипотеза?
7. Какие эмпирические функции рассчитываются при обработке результатов испытаний?
8. В чем заключается выбор закона распределения наработки до отказа по результатам испытаний?
9. По каким признакам классифицируются испытания на надежность?
10. Какие задачи ставятся перед определительными испытаниями на надежность?
11. Что такое « план испытаний»?
12. Какова процедура проведения испытаний на надежность?

Приложение 1

Таблица 1.1

Таблица распределения χ^2 $\left(p\left(\chi^2 > \chi^2_{\alpha,k}\right) = \alpha\right)$

k	α					
	0,01	0,02	0,05	0,95	0,98	0,99
1	6,64	5,41	3,84	0,004	0,001	0,000
2	9,21	7,82	5,99	0,103	0,040	0,020
3	11,34	9,84	7,82	0,352	0,185	0,115
4	13,28	11,67	9,49	0,711	0,429	0,297
5	15,09	13,39	11,07	1,145	0,752	0,554
6	16,82	15,03	12,59	1,635	1,134	0,872
7	18,48	16,62	14,07	2,17	1,564	1,239
8	20,10	18,17	15,51	2,73	2,03	1,646
9	21,07	19,68	16,92	3,32	2,53	2,09
10	23,20	21,2	18,31	3,94	3,06	2,56
12	26,2	24,1	21,0	5,23	4,18	3,57
14	29,1	26,9	23,7	6,57	5,37	4,66
16	32,0	29,6	26,3	7,96	6,61	5,81
18	34,8	32,3	28,9	9,39	7,91	7,02
20	37,6	35,0	31,4	10,85	9,24	8,26
22	40,3	37,7	33,9	12,34	10,60	9,54
24	43,0	40,3	36,4	13,85	11,99	10,86
26	45,6	42,9	38,9	15,38	13,41	12,20
28	48,3	45,4	41,3	16,93	14,85	13,56
30	50,9	48,0	43,8	18,49	16,31	14,95

Таблица 1.2

Значение функции $\varphi(x) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\dfrac{x^2}{2}\right)$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3987	3973
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918

Продолжение табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2089	2066	2943	2920
0,8	2897	2874	2950	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2010	1989	1965
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	1488	0478	0468	0459	0449
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	6119	0116	0113	0110	0107
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046
3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0038	0036	0035	0034
3,1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018

Окончание табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0007	0006
3,6	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0004
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002
3,9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

Таблица 1.3

Таблица распределения Колмогорова $\left(p(0 \le \lambda < \lambda_\gamma) = \gamma\right)$

λ_γ	γ	λ_γ	γ
0,50	0,0361	1,26	0,9164
0,54	0,0675	1,30	0,9319
0,58	0,1104	1,34	0,9449
0,62	0,1632	1,38	0,9557
0,66	0,2236	1,42	0,9646
0,70	0,2888	1,46	0,9718
0,74	0,3560	1,50	0,9778
0,78	0,4230	1,54	0,9826
0,82	0,4880	1,58	0,9864
0,86	0,5497	1,62	0,9895
0,90	0,6073	1,66	0,9918
0,94	0,6601	1,70	0,9938
0,98	0,7079	1,74	0,9953
1,02	0,7500	1,78	0.9965
1,06	0,7889	1,82	0,9973
1,10	0,8223	1,86	0,9980
1,14	0,8514	1,90	0,9985
1,18	0,8765	1,94	0,9989
1,22	0,8981	1,98	0,9992

Таблица 1.4

Таблица распределения Стьюдента $\gamma = \int\limits_{-t_{\gamma,k}}^{t_{\gamma,k}} f_t(x)dx$

k	γ			
	0,90	0,95	0,98	0,99
1	6,31	12,71	31,8	63,7
2	2,92	4,30	6,96	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,13	2,77	3,75	4,60
5	2,02	2,57	3,36	4,03
6	1,943	2,45	3,14	4,71
7	1,895	2,36	3,00	3,50
8	1,860	2,31	2,90	3,36
9	1,833	2,26	2,82	3,25
10	1,812	2,23	2,76	3,17
12	1,782	2,18	2,68	3,06
14	1,761	2,14	2,62	2,98
16	1,746	2,12	2,58	2,92
18	1,734	2,10	2,55	2,88
20	1,752	2,09	2,53	2,84
22	1,717	2,07	2,51	2,82
24	1,711	2,06	2,49	2,80
30	1,697	2,04	2,46	2,75
40	1,684	2,02	2,42	2,70
60	1,671	2,00	2,39	2,66
120	1,658	1,980	2,36	2,62
∞	1,645	1,960	2,33	2,58

Таблица 1.5

Значения функции Лапласса $\Phi_0(x)$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0	0,0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0535

Окончание табл. 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,2	0792	0832	0871	0910	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1880
0,5	1915	1950	1985	2019	2054	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2258	2291	2324	2356	2389	2422	2454	2486	2518	2549
0,7	2580	2612	2642	2673	2704	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2940	2967	2996	2923	3051	3078	3106	3233
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3282	3315	3340	3364	3389
1,0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3686	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3906	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4430	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4648	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4700	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4757	4762	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2,1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4864	4868	4871	4874	4878	4881	4884	4887	4900
2,3	4893	4896	4898	4901	4903	4906	4960	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4924	4927	4929	4930	4932	4934	4936
2,5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4950	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4958	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4980	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4935	4985	4986	4986
3,0	4986	4990	4993	4995	4997					
3,5	0,4997674									
4,0	4999683									
4,5	4999966									
5,0	499997									

$$\Phi_0(-x) = -\Phi_0(x)$$

Приложение 2

Таблица 2.1

Нормы отчислений

Параметры	Нормы отчислений		
	На полное восстановление	На капитальный ремонт	На обслуживание
Воздушные линии на металлических и железобетонных опорах на напряжение, кВ			
до 20	3,6	0,6	2,0
35 и выше	2,0	0,4	0,4
Воздушные линии на деревянных опорах из пропитанной древесины, кВ:			
до 20	4,0	1,7	2,0
35 и выше	3,3	1,6	0,5
Воздушные линии на деревянных опорах из пропитанной древесины до 20 кВ	6,0	2,0	2,0
Кабельные линии с алюминиевой оболочкой до 10 кВ, проложенных			
в земле	4,0	0,3	2,0
в помещении	2,0	0,3	2,0
Кабельные линии с пластмассовой изоляцией до 10 кВ, проложенных в земле или в помещениях	5,0	0,3	2,0
Электродвигатели мощностью, кВ			
до 100	9,5	3,1	1,0
более 100	5,3	2,8	1,0
Оборудование подстанций	3,5	2,9	1,0

Таблица 2.2

Влияние кратности резервирования на вероятность безотказной работы параллельной группы в зависимости от параметра потока отказов

Кратность резервирования	λt				
	0,1	0,5	1	2	4
0/1	0,9048	0,6065	0,3679	0,1353	0,0183
1/3	0,9523	0,4862	0,1443	0,0090	0,0004
1/2	0,9735	0,6575	0,3063	0,0499	0,0008
1/1	0,9909	0,8431	0,6005	0,2523	0,0363
2/2	0,9947	0,8228	0,4683	0,0908	0,0019
2/1	0,9999	0,9389	0,7476	0,3535	0,0540
3/1	1,0000	0,9757	0,8407	0,4511	0,0716

Таблица 2.3

Параметры потока отказов элементов электроснабжения (λ_{ai}), 1/год

Элемент	Напряжение, кВ				
	30	220	110	35	6−10
1	2	3	4	5	6
Трансформаторы и автотрансформаторы	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
Воздушные линии на 100 км					
одноцепные	0,5	0,6	1,1	1,4	–
двухцепные					
отказ одной цепи	–	0,5	0,9	1,1	–
отказ двух цепей	–	0,1	0,2	0,3	–
Кабельные линии, на 100 км					
в траншее	–	–	–	–	8,0
в туннеле	–	–	–	–	1,3
в блоках	–	–	–	–	10,0
Шины (на присоединение)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Масляные выключатели в цепях					
ВЛ	–	0,07	0,03	0,02	–
других цепях	–	0,01	0,01	0,01	0,01

Окончание табл. 2.3

1	2	3	4	5	6
Воздушные выключатели в цепях					
ВЛ	0,02	0,15	0,1	0,08	–
других цепях	0,07	0,06	0,05	0,04	–
Короткозамыкатели и отделители	–	0,04	0,02	0,01	–
Разъединители	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Реакторы	–	–	–	–	0,002

Таблица 2.4

Среднее время восстановления элементов электроснабжения (T_{bi}·10^{-3}), лет

Элемент	Напряжение, кВ				
	30	220	110	35	6–10
Трансформаторы и автотрансформаторы					
при отсутствии резервного в системе	250	80	60	45	10
при наличии резервного в системе	–	25	20	10	–
Воздушные линии на					
одноцепные	1,3	1,1	1,0	1,0	–
двухцепные					
отказ одной цепи	–	0,2	0,4	0,8	–
отказ двух цепей	–	4,0	3,0	2,5	–
Кабельные линии					
в траншее	–	–	–	–	7,0
в туннеле	–	–	–	–	4,0
в блоках	–	–	–	–	11,5
Шины	0,6	0,4	0,25	0,25	0,25
Выключатели	7,0	4,8	2,8	1,3	1,1
Короткозамыкатели и отделители	–	0,4	0,4	0,4	–
Разъединители	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Реакторы	–	–	–	–	0,11

Таблица 2.5

Среднегодовое время планового простоя ($k_n \cdot 10^{-3}$), отн.ед.

Элемент	Напряжение, кВ				
	30	220	110	35	6−10
Воздушные линии	9	7	5	4	–
Кабельные линии	–	–	–	–	0,9
Трансформаторы и автотрансформаторы	9,5	8,5	7,5	6,0	4,0
Выключатели воздушные	30	20	10	5	2
Выключатели масляные	–	8,5	6,5	2	2
Шины сборные	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2
Выключатели	7,0	4,8	2,8	1,3	1,1
Короткозамыкатели и отделители	–	1,14	1,14	–	–
Разъединители	4,9	1,3	1,14	0,27	0,19
Реакторы	–	–	–	–	0,2

Таблица 2.6

Удельные показатели ущерба от перерыва электроснабжения промышленных предприятий, отнесенные к аварийному или плановому недоотпуску электроэнергии

Отрасли и предприятия	Составляющие ущерба*	
	Аварийный недоотпуск	Плановый недоотпуск
1	2	3
Черная металлургия	0,48	0,15
Машиностроение и металлообработка		
общее машиностроение	0,35	0,1
станкостроение	0,5	0,1
производство шарикоподшипников	0,49	0,3
Тяжелое машиностроение	2,0	0,3
Крупное электромашиностроение	0,95	0,25
Среднее электромашиностроение и производство электроаппаратуры	0,65	0,22
Автомобилестроение	0,46	0,21
Производство часов	0,75	0,17

Окончание табл. 2.6

1	2	3
Инструментальный завод	0,2	0,05
Завод металлоконструкций	0,16	0,13
Целлюлозо-бумажная промышленность		
производство целлюлозы	0,55	0,18
производство бумаги	0,15	0,09
Деревообрабатывающая промышленность	0,29	0,25
Химическая промышленность		
азотно-туковый завод	0,6	0,5
химико-фармацевтический завод	33,4	0,07
Цементная промышленность	0,25	0,13
Промышленность стройматериалов		
завод железобетонных изделий	0,25	0,16
керамико-плиточный завод	1,35	0,18
Текстильная промышленность		
прядильно-ткацкая фабрика	0,43	0,38
текстильный комбинат	0,65	0,39
Легкая промышленность		
обувная фабрика	1,35	1,25
швейная фабрика	0,11	0,11
кожевенное производство	0,5	0,43
прочие предприятия легкой промышленности	0,22	0,16
Пищевая промышленность		
хлебопекарня	12,0	1,05
мукомольно-крупяная	0,26	0,11
консервная	2,25	0,38
прочие предприятия	0,65	0,29
Строительство	0,38	0,36
Транспорт		
железнодорожный электрифицированный	0,18	–
магистральные газопроводы	0,15	–
* Чтобы определить удельный ущерб, нужно значение относительного ущерба, указанное в таблице, умножить на величину тарифной ставки.		

Таблица 2.7

Удельные ущербы от внезапных перерывов и перерывов предупреждением, грн./кВт·ч

Потребитель	Внезапные перерывы		Перерывы с предупреждением		Длительные перерывы
	до 3 ч	свыше 3 ч	в течение суток	за сутки и более	
Черная металлургия	0,93	0,67	0,43	0,24	0,18
Машиностроение и металлообработка					
тяжелое	7,02	3,74	–	0,56	0,65
общее	1,40	0,65	–	0,18	0,65
автомобильная промышленность	2,0	0,86	0,45	0,37	0,65
Целлюлозо-бумажная	1,40	0,65	–	0,23	0,15
Деревообработка	0,81	0,53	–	0,46	0,93
Химическая промышленность					
производство удобрений	0,39	0,24	0,1	0,1	0,18
производство пластмасс	2,15	1,49		0,46	0,18
Цементная промышленность	0,84	0,46		0,24	0,34
Стройматериалы	0,74	0,39	0,25	0,24	0,24
Текстильная промышленность	4,21	1,68		0,65	1,87
Легкая промышленность	0,51	0,46		0,28	0,65
Пищевая промышленность	2,34	1,21		0,56	0,79
Прочие отрасли	0,14	0,9	0,9	0,9	0,9
Строительство	0,88	0,70		0,65	1,12
Электрифицированные железные дороги	–	–	0,23	0,46	–
Жилищно-коммунальный сектор городского хозяйства	–	–	2,52	4,21	–
Сельское хозяйство	–	–	0,74	2,05	–

Литература

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. –37 с.

2. Федеральный закон «Об электроэнергетике» №35-ФЗ от 26 марта 2003 г. – 36 с

3. Венцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель – М.: Наука, 1969. –576 с.

4.Тремясов В. А. Надежность электроснабжения: Учеб. пособие / В. А. Тремясов. − Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. −163 с.

5. Волков Н. Г. Надежность электроснабжения. Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. − Томск, 2003. −140 с.

6. Китушин В. Г. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы: Учебное пособие / В. Г. Китушин. − Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. −256 с.

7. Анищенко В. А. Надежность систем электроснабжения: Учеб. пособие / В. А. Анищенко. − Мн.: УП «Технопринт», 2001. −160 с.

8. Фокин Ю. А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения / Ю. А. Фокин. − М.: Энергоатомиздат, 1985.

9. Зорин В. А. Надежность систем электроснабжения / В. А. Зорин, В. В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – Киев: Вища школа, 1984.

10. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. – Л.:Энергоатомиздат, 1988.

11. Гук Ю. Б. Расчет надежности схем электроснабжения / Ю. Б. Гук, М. М. Синенко, В. А. Тремясов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.

12. Михайлов В. В. Надежность электроснабжения промышленных предприятий / В.В. Михайлов / - 2-е изд., перераб. и доп. − М.: Энергоиздат, 1982. −152 с.

13. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д. Л. Файбисовича. − М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. –320 с.

14. Елизаров А. И. Применение метода марковских графов в задачах распределения требований к надежности /А. И. Елизаров, В. В. Таратунин. Изд. РАН. Энергетика, 1999. −№4. С53−64.

15. Самсонов В. С. Экономика предприятий энергетического комплекса: Учеб. для вузов \ В. С.Самсонов, М. А.Вяткин. – М.: Высш. шк., 2001. –416 с.

16. Секретарев Ю. А. Надежность электроснабжения. Методические указания: − Новосибирск, НГТУ, 2004. −19 с.

17. Острейковский В. А Теория надежности: Учеб. для вузов / В. А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. –463 с.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт «» з дисципліни „”. Для студентів спеціальності 7.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання» всіх форм навчання.

Укладачі: Аніськов О.В., ст. викл.