

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

**Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий**

Составитель  
**А. А. Шевченко**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
ОБ ОТКАЗАХ**

**Методические указания к практическому занятию  
и самостоятельной работе для студентов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления  
13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»  
в качестве электронного издания для использования  
в учебном процессе

Кемерово 2015

## Рецензенты

Беляевский Р. В. – старший преподаватель кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий

Семыкина И. Ю. – председатель учебно-методической комиссии направления 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»

**Шевченко Анастасия Александровна.** Определение количественных показателей надежности по статистическим данным об отказах: методические указания к практическому занятию и самостоятельной работе по дисциплине «Надежность электроснабжения» [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение», всех форм обучения / сост.: А. А. Шевченко. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 32 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены основные теоретические положения, необходимые для решения задач, задачи для практического занятия и самостоятельной работы, методические указания по изучению темы, а также контрольные вопросы и список литературы.

## 1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Целью занятия является приобретение теоретических знаний по определению количественных показателей надежности по статистическим данным об отказах как невосстанавливаемых, так и восстанавливаемых изделий или систем, а также получение практических навыков при решении задач.

## 2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для количественной оценки надежности электротехнических устройств используются теория вероятностей и математическая статистика. Однако эта оценка должна базироваться на объективных статистических данных о выходе из строя устройств в различных условиях эксплуатации. Так как возникающие в период нормальной эксплуатации электротехнического устройства внезапные отказы носят случайный характер, то и количественные показатели надежности устройства имеют вероятностный характер.

### 2.1. Количественные показатели надежности невосстанавливаемых систем

Невосстанавливаемыми называют такие изделия, которые в процессе выполнения своих функций не допускают ремонта. Если происходит отказ такого изделия, то выполняемая операция будет сорвана и ее необходимо начинать вновь в том случае, если возможно устранение отказа. К таким изделиям относятся как изделия однократного действия, так и изделия многократного действия.

Критериями надежности невосстанавливаемых изделий или систем являются:

- вероятность безотказной работы  $P(t)$ ;
- частота отказов  $a(t)$ ;
- интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ;
- средняя наработка до первого отказа  $T_{cp}$ .

Вероятностью безотказной работы называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Согласно определению

$$P(t) = P(T > t), \quad (1)$$

где  $t$  – время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы;  $T$  – время работы изделия от его включения до первого отказа.

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – число изделий в начале испытания;  $n(t)$  – число отказавших изделий за время  $t$ .

На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность отказа.

Вероятностью отказа называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникнет хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными, поэтому

$$Q(t) = P(T \leq t), \quad (3)$$

$$\bar{Q}(t) = 1 - P(t), \quad (4)$$

$$\bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}. \quad (5)$$

Частотой отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются.

Согласно определению

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (6)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказавших образцов в интервале времени от  $t - \Delta t/2$  до  $t + \Delta t/2$ .

Частота отказов есть плотность вероятности (или закон распределения) времени работы изделия до первого отказа. Поэтому

$$a(t) = -P'(t) = Q'(t), \quad (7)$$

$$Q(t) = \int_0^t a(t) dt, \quad (8)$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t a(t) dt. \quad (9)$$

Интенсивностью отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.

Согласно определению

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (10)$$

где  $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$  – среднее число исправно работающих изделий в интервале  $\Delta t$ ;  $N_i$  – число изделий, исправно работающих в начале интервала  $\Delta t$ ;  $N_{i+1}$  – число изделий исправно работающих в конце интервала  $\Delta t$ .

Выражение (10) есть статистическое определение интенсивности отказов. Вероятностная оценка этой характеристики находится из выражения

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (11)$$

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны между собой зависимостью

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (12)$$

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы изделия до отказа.

Как и математическое ожидание,  $T_{cp}$  вычисляется через частоту отказов (плотность распределения времени безотказной работы):

$$M[t] = T_{cp} = \int_{-\infty}^{+\infty} ta(t)dt. \quad (13)$$

Так как  $t$  положительно и  $P(0) = 1$ , а  $P(\infty) = 0$ , то

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt. \quad (14)$$

По статистическим данным об отказах средняя наработка до первого отказа вычисляется по формуле

$$\bar{T}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (15)$$

где  $t_i$  – время безотказной работы  $i$ -го образца;  $N_0$  – число испытываемых образцов.

Как видно из формулы (15), для определения средней наработки до первого отказа необходимо знать моменты выхода из строя всех испытываемых элементов. Поэтому для вычисления  $\bar{T}_{cp}$  пользоваться указанной формулой неудобно. Имея данные о количестве вышедших из строя элементов  $n_i$  в каждом  $i$ -ом интервале времени, среднюю наработку до первого отказа лучше определять из уравнения

$$\bar{T}_{cp} \approx \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot t_{cp_i}}{N_0}. \quad (16)$$

В выражении (16)  $t_{cp_i}$  и  $m$  находят по следующим формулам:

$$t_{cp_i} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}, \quad m = \frac{t_k}{\Delta t}, \quad (17)$$

где  $t_{i-1}$  – время начала  $i$ -го интервала;  $t_i$  – время конца  $i$ -го интервала;  $t_k$  – время, в течение которого вышли из строя все элементы;  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$  – интервал времени.

## 2.2. Количественные показатели надежности восстанавливаемых систем

Восстанавливаемыми называются такие изделия, которые в процессе выполнения своих функций допускают ремонт. Если произойдет отказ такого изделия, то он вызовет прекращение функционирования изделия только на период устранения отказа.

К числу наиболее широко применяемых критериев надежности восстанавливаемых изделий относятся:

- наработка на отказ  $t_{cp}$ ;
- параметр потока отказов  $\omega(t)$ ;
- функция готовности  $K_2(t)$ ;
- коэффициент готовности  $K_2$ .

Параметром потока отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными (новыми или отремонтированными).

Согласно определению

$$\bar{\omega}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (18)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказавших образцов в интервале времени от  $t - \Delta t/2$  до  $t + \Delta t/2$ ;  $N$  – число испытываемых образцов;  $\Delta t$  – интервал времени.

Выражение (18) является статистическим определением параметра потока отказов.

Параметр потока отказов и частота отказов для ординарных потоков с ограниченным последствием связаны интегральным уравнением Вольтерра второго рода

$$\omega(t) = a(t) + \int_0^t \omega(\tau) \cdot a(t - \tau) d\tau. \quad (19)$$

По известной  $a(t)$  можно найти все количественные характеристики надежности невосстанавливаемых изделий. Поэтому выражение (19) является основным уравнением, связывающим количественные характеристики надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых изделий при мгновенном восстановлении.

Параметр потока отказов обладает следующими важными свойствами:

1) для любого момента времени независимо от закона распределения времени безотказной работы параметр потока отказов больше, чем частота отказов, т.е.  $\omega(t) > a(t)$ ;

2) независимо от вида функции  $a(t)$  параметр потока отказов  $\omega(t)$  при  $t \rightarrow \infty$  стремится к  $1/T_{cp}$ . Это важное свойство параметра потока отказов означает, что при длительной эксплуатации ремонтируемого изделия поток его отказов независимо от закона распределения времени безотказной работы становится стационарным. Однако это вовсе не означает, что интенсивность отказов есть величина постоянная;

3) если  $\lambda(t)$  – возрастающая функция времени, то  $\lambda(t) > \omega(t) > a(t)$ , если  $\lambda(t)$  – убывающая функция, то  $\omega(t) > \lambda(t) > a(t)$ ;

4) при  $\lambda(t) \neq \text{const}$  параметр потока отказов системы не равен сумме параметров потоков отказов элементов, т.е.

$$\omega_c(t) \neq \sum_{i=1}^N \omega_i(t). \quad (20)$$

Это свойство параметра потока отказов позволяет утверждать, что при вычислении количественных характеристик надежности сложной системы нельзя суммировать имеющиеся в настоящее время значения интенсивностей отказов элементов, полученные по статистическим данным об отказах изделий в условиях эксплуатации, так как указанные величины являются фактически параметрами потока отказов;

5) при  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$  параметр потока отказов равен интенсивности отказов  $\omega(t) = \lambda(t) = \lambda$ .

Из рассмотрения свойств интенсивности и параметра потока отказов видно, что эти характеристики различны.

Наработкой на отказ называется среднее значение времени между соседними отказами.

Эта характеристика определяется по статистическим данным об отказах по формуле



$$\bar{t}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (21)$$

где  $t_i$  – время исправной работы изделия между  $(i-1)$ -м и  $i$ -м отказами;  $n$  – число отказов за некоторое время  $t$ .

Из формулы (21) видно, что в данном случае наработка на отказ определяется по данным испытания одного образца изделия. Если на испытании находится  $N$  образцов в течение времени  $t$ , то наработка на отказ вычисляется по формуле

$$\bar{t}_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j}, \quad (22)$$

где  $t_{ij}$  – время исправной работы  $j$ -го образца изделия между  $(i-1)$ -м и  $i$ -м отказом;  $n_j$  – число отказов за время  $t$   $j$ -го образца.

Наработка на отказ является достаточно наглядной характеристикой надежности, поэтому она получила широкое распространение на практике.

Параметр потока отказов и наработка на отказ характеризуют надежность ремонтируемого изделия и не учитывают времени, необходимого на его восстановление. Поэтому они не характеризуют готовность изделия к выполнению своих функций в нужное время. Для этой цели вводятся такие критерии, как коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя.

Коэффициентом готовности называется отношение времени исправной работы к сумме времен исправной работы и вынужденных простоев изделия, взятых за один и тот же календарный срок.

Согласно данному определению

$$\bar{K}_z = \frac{t_p}{t_p + t_n}, \quad (23)$$

где  $t_p$  – суммарное время исправной работы изделия;  $t_n$  – суммарное время вынужденного простоя.

Времена  $t_p$  и  $t_n$  вычисляются по формулам:

$$t_p = \sum_{i=1}^n t_{p_i}, \quad t_n = \sum_{i=1}^n t_{n_i}, \quad (24)$$

где  $t_{p_i}$  – время работы изделия между  $(i-1)$ -м и  $i$ -м отказом;  $t_{n_i}$  – время вынужденного простоя после  $i$ -го отказа;  $n$  – число отказов (ремонтов) изделия.

Выражение (23) является статистическим определением коэффициента готовности. Для перехода к вероятностной трактовке величины  $t_p$  и  $t_n$  заменяются математическими ожиданиями времени между соседними отказами и времени восстановления соответственно.

Тогда

$$K_z = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_e}, \quad (25)$$

где  $t_{cp}$  – наработка на отказ;  $t_e$  – среднее время восстановления.

Коэффициентом вынужденного простоя называется отношение времени вынужденного простоя к сумме времен исправной работы и вынужденных простоев изделия, взятых за один и тот же календарный срок.

Согласно определению

$$\bar{K}_n = \frac{t_n}{t_p + t_n} \quad (26)$$

или, переходя к средним величинам,

$$K_n = \frac{t_e}{t_{cp} + t_e}. \quad (27)$$

Коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя связаны между собой зависимостью

$$K_n = 1 - K_z. \quad (28)$$

При анализе надежности восстанавливаемых систем обычно коэффициент готовности вычисляют по формуле

$$K_z = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + t_e}. \quad (29)$$

Формула (29) верна только в том случае, если поток отказов простейший, и тогда  $t_{cp} = T_{cp}$ .

Часто коэффициент готовности, вычисленный по формуле (29), отождествляют с вероятностью того, что в любой момент времени восстанавливаемая система исправна. На самом деле указанные характеристики неравноценны и могут быть отождествлены при определенных допущениях.

Действительно, вероятность возникновения отказа ремонтируемой системы в начале эксплуатации мала. С ростом времени  $t$  эта вероятность возрастает. Это означает, что вероятность застать систему в исправном состоянии в начале эксплуатации будет выше, чем по истечении некоторого времени. Между тем на основании формулы (29) коэффициент готовности не зависит от времени работы.

Для выяснения физического смысла коэффициента готовности  $K_2$  запишем формулу для вероятности застать систему в исправном состоянии. При этом рассмотрим наиболее простой случай, когда интенсивность отказов  $\lambda$  и интенсивность восстановления  $\mu$  есть величины постоянные.

Предполагая, что при  $t = 0$  система находится в исправном состоянии ( $P(0) = 1$ ), вероятность застать систему в исправном состоянии определяется из выражений:

$$P_2(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}, \quad (30)$$

$$P_2(t) = K_2 + (1 - K_2) e^{-t/K_2 t_0}, \quad (31)$$

где  $\lambda = \frac{1}{T_{cp}}$ ;  $\mu = \frac{1}{t_0}$ ;  $K_2 = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + t_0}$ .

Это выражение устанавливает зависимость между коэффициентом готовности системы и вероятностью застать ее в исправном состоянии в любой момент времени  $t$ .

Из (31) видно, что  $P_2(t) \rightarrow K_2$  при  $t \rightarrow \infty$ , т.е. практически коэффициент готовности имеет смысл вероятности застать изделие в исправном состоянии при установившемся процессе эксплуатации.

В некоторых случаях критериями надежности восстанавливаемых систем могут быть также критерии надежности невозстанавливаемых систем, например: вероятность безотказной работы, частота отказов, средняя наработка до первого отказа, интенсивность отказов. Такая необходимость возникает всегда, когда имеет смысл оценить надежность восстанавливаемой системы до первого отказа, а также в случае, когда применяется резервирование с восстановлением отказавших резервных устройств в процессе работы системы, причем отказ всей резервированной системы не допускается.

### 3. ЗАДАЧИ

#### 3.1. Задачи для практических занятий

##### 3.1.1. Определение количественных показателей надежности невозстанавливаемых систем

1. На испытание поставлено 1000 однотипных тиристоров. За 3000 ч отказало 80 тиристоров. Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа тиристоров в течение 3000 ч.

2. При эксплуатации из 1000 силовых трансформаторов в течение одного года отказали 15. Причиной их отказа было короткое замыкание в обмотках. Определить вероятность безотказной работы обмоток трансформатора за год.

3. 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 частоту и интенсивность отказов ламп в промежутке времени 3000–4000 ч.

4. На испытание поставлено  $N_0 = 400$  изделий. За время  $t = 3000$  ч отказало  $n(t) = 200$  изделий, а за следующий интервал времени  $\Delta t = 100$  ч отказало  $n(\Delta t) = 100$  изделий. Требуется определить  $\bar{P}(3000)$ ,  $\bar{P}(3100)$ ,  $\bar{P}(3050)$ ,  $\bar{a}(3050)$ ,  $\bar{\lambda}(3050)$ .

5. При эксплуатации 100 трансформаторов в течение 10 лет произошло два отказа, причем каждый раз отказывал новый

трансформатор. Определить интенсивность отказов трансформатора за период наблюдения.

6. На испытании находилось  $N_0 = 1000$  образцов неремонтируемой аппаратуры. Число отказов  $n(\Delta t)$  фиксировалось через каждые 100 ч работы ( $\Delta t = 100$  ч). Данные об отказах приведены в табл. 1. Требуется вычислить количественные характеристики надежности и построить зависимости характеристик от времени.

Таблица 1

Данные об отказах к задаче 6

$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$
0–100	50	1000–1100	15	2000–2100	12
100–200	40	1100–1200	14	2100–2200	13
200–300	32	1200–1300	14	2200–2300	12
300–400	25	1300–1400	13	2300–2400	13
400–500	20	1400–1500	14	2400–2500	14
500–600	17	1500–1600	13	2500–2600	16
600–700	16	1600–1700	13	2600–2700	20
700–800	16	1700–1800	13	2700–2800	25
800–900	15	1800–1900	14	2800–2900	30
900–1000	14	1900–2000	12	2900–3000	40

7. На испытание поставлено 400 резисторов. За время наработка 10000 ч отказало 4 резистора. За последующие 1000 ч отказал еще один резистор. Определить частоту и интенсивность отказов резисторов в промежутке времени 10000–11000 ч.

8. При эксплуатации 10 электродвигателей постоянного тока наблюдали за работой их щеточных аппаратов и выявили, что щетки первого двигателя проработали до отказа 800 ч, второго – 1200 ч, далее – соответственно 900, 1400, 700, 950, 750, 1300, 850 и 1150 ч. Определить наработку щеток электродвигателей до внезапного отказа.

9. Вычислить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение 2500 ч, если известно, что изначально на

испытание было поставлено 1000 изделий, а к моменту времени 2500 ч отказало 25 изделий

10. В результате наблюдения за 45 образцами радиоэлектронного оборудования получены данные до первого отказа всех 45 образцов, сведенные в табл. 2. Требуется определить вероятность безотказной работы, частоту отказов и интенсивность отказов в функции времени, построить графики этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа.

Таблица 2

## Исходные данные к задаче 10

$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$
0–5	1	25–30	6	50–55	1
5–10	5	30–35	4	55–60	0
10–15	8	35–40	3	60–65	3
15–20	2	40–45	0	65–70	3
20–25	5	45–50	1	70–75	3

11. Имеются статистические данные об отказах трех групп одинаковых изделий, приведенные в табл. 3. В каждой группе было по 100 изделий и их испытания проводились по первой группе 550 ч, по второй – 400 ч и по третьей – 200 ч. Необходимо вычислить количественные характеристики  $P(t)$ ,  $a(t)$ ,  $\lambda(t)$  и построить графики этих функций.

Таблица 3

## Исходные данные к задаче 11

$\Delta t_i$ , ч	1 группа $n(\Delta t_i)$	2 группа $n(\Delta t_i)$	3 группа $n(\Delta t_i)$	$\Sigma n(\Delta t_i)$
0–25	4	6	5	15
25–50	8	9	8	25
50–75	6	5	7	18
75–100	3	4	5	12

Продолжение табл. 3

$\Delta t_i, \text{ч}$	1 группа $n(\Delta t_i)$	2 группа $n(\Delta t_i)$	3 группа $n(\Delta t_i)$	$\Sigma n(\Delta t_i)$
100–150	5	5	6	16
150–200	4	3	3	10
200–250	1	3	–	4
250–300	2	2	–	4
300–400	3	4	–	7
400–550	5	–	–	5

### 3.1.2. Определение количественных показателей надежности восстанавливаемых систем

12. В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой одного комплекта защиты. За весь период наблюдения было зарегистрировано 15 отказов. До начала наблюдения защита проработала 258 ч, к концу наблюдения наработка составила 1233 ч. Требуется определить среднюю наработку на отказ.

13. Трансформатор, проработав около года, вышел из строя. После устранения причины отказа трансформатор проработал еще три года и опять вышел из строя. Определить среднюю наработку трансформатора на отказ.

14. Производилось наблюдение за работой трех экземпляров однотипной аппаратуры. За период наблюдения было зафиксировано по первому экземпляру аппаратуры 6 отказов, по второму и третьему – 11 и 8 отказов соответственно. Нарботка первого экземпляра составила 181 ч, второго – 329 ч и третьего – 245 ч. Требуется определить наработку аппаратуры на отказ.

15. 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. Требуется определить среднее время восстановления аппаратуры.

16. Аппаратура имела среднюю наработку на отказ  $t_{cp} = 65$  ч и среднее время восстановления  $t_g = 1,25$  ч. Требуется определить коэффициент готовности.

17. Электротехническое устройство состоит из трех элементов. В течение одного года эксплуатации в первом элементе произошло два отказа, во втором – один, в третьем отказов не было. Определить параметр потока отказов устройства.

18. При эксплуатации системы было зарегистрировано  $n = 40$  отказов. Распределение отказов по группам элементов и время, затраченное на восстановление, приведены в табл. 4. Необходимо найти величину среднего времени восстановления системы.

Таблица 4

Исходные данные к задаче 18

Группа элементов	Количество отказов по группе $n_i$	Вес отказов по группе $m_i = \frac{n_i}{n}$	Время восстановления $t_i$ , мин
Полупроводниковые приборы	8	0,2	80; 59; 110; 91; 45; 43; 99; 73
Резисторы и конденсаторы	10	0,25	61; 73; 91; 58; 44; 112; 82; 54; 91; 94
Реле, дроссели, трансформаторы	4	0,1	102; 98; 124; 128
Электровacuумные приборы	14	0,35	60; 64; 56; 36; 65; 44; 42; 33; 32; 23; 86; 75; 61; 23
Прочие элементы	4	0,1	125; 133; 115; 107



19. Известно, что интенсивность отказов  $\lambda = 0,02$  1/ч, а среднее время восстановления  $t_g = 10$  ч. Требуется вычислить функцию и коэффициент готовности изделия.

20. Коэффициент готовности сложного восстанавливаемого изделия  $K_g = 0,9$ . Среднее время его восстановления  $t_g = 100$  ч. Требуется найти вероятность застать изделие в исправном состоянии в момент времени  $t = 12$  ч.

21. Интенсивность отказов  $\lambda_c$  сложной восстанавливаемой системы есть величина постоянная и равно  $0,015$  1/ч. Среднее время восстановления  $t_g = 100$  ч. Необходимо вычислить вероятность застать систему в исправном состоянии в момент времени  $t = 10$  ч.

22. В процессе эксплуатации  $N_0 = 100$  восстанавливаемых изделий возникали отказы, которые фиксировались в интервалах времени  $\Delta t = 100$  ч. Число отказов  $n$  за время эксплуатации в течение  $1000$  ч приведено в табл. 5. Требуется определить интенсивность отказов и построить график, а также найти вероятность безотказной работы изделия в течение  $t = 1000$  ч.

Таблица 5

Исходные данные к задаче 22

$\Delta t_i$ , ч	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500
$n$	2	4	6	7	8
$\Delta t_i$ , ч	500–600	600–700	700–800	800–900	900–1000
$n$	9	9	10	10	10

### 3.2. Задачи для самостоятельной работы

23. На испытание поставлено  $N_0$  изделий. За время  $t$  вышло из строя  $n(t)$  штук изделий. За последующий интервал времени  $\Delta t$  вышло из строя  $n(\Delta t)$  изделий. Необходимо вычислить веро-

ятность безотказной работы и вероятность отказа за время  $t$  и  $t + \Delta t$ , частоту отказов и интенсивность отказов на интервале  $\Delta t$ .

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 6.

Таблица 6

Исходные данные к задаче 23

Номер варианта	$N_0$	$t$ , ч	$\Delta t$ , ч	$n(t)$	$n(\Delta t)$
1	1000	1000	100	315	18
2	400	3000	500	200	100
3	60	2000	1000	15	5
4	1000	15000	1000	128	45
5	45	10	10	19	13
6	10000	5000	1000	18	2
7	100	500	100	50	15
8	5000	10000	5000	213	108
9	450	2000	100	47	4
10	10	3000	1000	3	1
11	500	100	100	32	27
12	2000	500	250	126	103
13	100	1000	100	10	10
14	20	8000	100	4	4
15	300	500	50	12	1
16	1000	10000	1000	87	24
17	50	250	250	5	3
18	80	100	50	21	14
19	100	5000	1000	4	1
20	45	75	5	41	2
21	200	50	10	38	9
22	10	1000	100	5	2
23	10000	5000	500	47	18
24	3000	200	100	285	146
25	10	100	100	2	1
26	500	2000	200	185	64
27	20	1000	100	16	2

Продолжение табл. 6

Номер варианта	$N_0$	$t$ , ч	$\Delta t$ , ч	$n(t)$	$n(\Delta t)$
28	1000	25000	1000	582	215
29	45	50	10	43	1
30	10000	1000	500	54	28

24. На испытание было поставлено  $N_0$  однотипных элементов. Число отказавших элементов  $n(\Delta t)$  учитывалось через каждые  $\Delta t$  ч работы. Данные об отказах приведены в табл. 7. Требуется определить вероятность безотказной работы, частоту отказов и интенсивность отказов в функции времени, построить графики этих функций. Необходимо также найти среднюю наработку до первого отказа элементов.

Таблица 7

Исходные данные к задаче 24

Номер варианта	$N_0$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$
1	1000	0–1000	20	13000–14000	40
		1000–2000	25	14000–15000	50
		2000–3000	35	15000–16000	40
		3000–4000	50	16000–17000	50
		4000–5000	30	17000–18000	40
		5000–6000	50	18000–19000	50
		6000–7000	40	19000–20000	35
		7000–8000	40	20000–21000	35
		8000–9000	50	21000–22000	50
		9000–10000	30	22000–23000	35
		10000–11000	40	23000–24000	25
		11000–12000	40	24000–25000	30
		12000–13000	50	25000–26000	20

Продолжение табл. 7

Номер варианта	$N_0$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$n(\Delta t_i)$
2	500	0–100	25	1500–1600	6
		100–200	20	1600–1700	6
		200–300	16	1700–1800	6
		300–400	13	1800–1900	7
		400–500	10	1900–2000	6
		500–600	9	2000–2100	5
		600–700	8	2100–2200	7
		700–800	8	2200–2300	6
		800–900	7	2300–2400	7
		900–1000	7	2400–2500	7
		1000–1100	8	2500–2600	8
		1100–1200	7	2600–2700	10
		1200–1300	7	2700–2800	12
		1300–1400	6	2800–2900	15
		1400–1500	7	2900–3000	19
3	50	0–100	9	1000–1100	1
		100–200	5	1100–1200	1
		200–300	4	1200–1300	2
		300–400	6	1300–1400	1
		400–500	3	1400–1500	1
		500–600	3	1500–1600	1
		600–700	3	1600–1700	0
		700–800	2	1700–1800	1
		800–900	3	1800–1900	0
		900–1000	2	1900–2000	1

Продолжение табл. 7

Номер варианта	$N_0$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$
4	1200	0–250	24	3000–3250	60
		250–500	29	3250–3500	48
		500–750	42	3500–3750	60
		750–1000	60	3750–4000	49
		1000–1250	36	4000–4250	58
		1250–1500	59	4250–4500	44
		1500–1750	48	4500–4750	42
		1750–2000	48	4750–5000	60
		2000–2250	60	5000–5250	42
		2250–2500	37	5250–5500	30
		2500–2750	48	5500–5750	36
		2750–3000	49	5750–6000	24
5	1500	0–500	145	5000–5500	37
		500–1000	92	5500–6000	35
		1000–1500	86	6000–6500	33
		1500–2000	77	6500–7000	35
		2000–2500	69	7000–7500	60
		2500–3000	62	7500–8000	75
		3000–3500	56	8000–8500	62
		3500–4000	51	8500–9000	42
		4000–4500	45	9000–9500	31
		4500–5000	41	9500–10000	16

Продолжение табл. 7

Номер варианта	$N_0$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$n(\Delta t_i)$
6	100	0–50	1	750–800	1
		50–100	3	800–850	0
		100–150	5	850–900	1
		150–200	7	900–950	1
		200–250	8	950–1000	0
		250–300	3	1000–1050	0
		300–350	2	1050–1100	1
		350–400	5	1100–1150	0
		400–450	5	1150–1200	2
		450–500	5	1200–1250	3
		500–550	6	1250–1300	3
		550–600	7	1300–1350	3
		600–650	4	1350–1400	2
		650–700	3	1400–1450	1
		700–750	3	1450–1500	1
7	800	0–250	50	4000–4250	14
		250–500	38	4250–4500	14
		500–750	29	4500–4750	13
		750–1000	28	4750–5000	12
		1000–1250	26	5000–5250	11
		1250–1500	26	5250–5500	11
		1500–1750	24	5500–5750	12
		1750–2000	22	5750–6000	17
		2000–2250	21	6000–6250	21
		2250–2500	20	6250–6500	25
		2500–2750	19	6500–6750	26
		2750–3000	18	6750–7000	23
		3000–3250	17	7000–7250	22
		3250–3500	16	7250–7500	20
		3500–3750	16	7500–7750	15
3750–4000	15	7750–8000	7		

Продолжение табл. 7

Номер варианта	$N_0$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ч}$	$n(\Delta t_i)$
8	150	0–1000	12	10000–11000	3
		1000–2000	9	11000–12000	2
		2000–3000	8	12000–13000	1
		3000–4000	8	13000–14000	3
		4000–5000	8	14000–15000	5
		5000–6000	7	15000–16000	4
		6000–7000	6	16000–17000	7
		7000–8000	5	17000–18000	6
		8000–9000	4	18000–19000	8
		9000–10000	3	19000–20000	9
9	200	0–50	36	500–550	5
		50–100	20	550–600	3
		100–150	17	600–650	2
		150–200	24	650–700	2
		200–250	15	700–750	3
		250–300	13	750–800	2
		300–350	12	800–850	1
		350–400	9	850–900	1
		400–450	11	900–950	0
		450–500	8	950–1000	1
10	1000	0–500	75	6000–6500	21
		500–1000	60	6500–7000	20
		1000–1500	48	7000–7500	21
		1500–2000	37	7500–8000	19
		2000–2500	30	8000–8500	19
		2500–3000	26	8500–9000	20
		3000–3500	24	9000–9500	21
		3500–4000	23	9500–10000	24
		4000–4500	23	10000–10500	30
		4500–5000	21	10500–11000	37
		5000–5500	22	11000–11500	45
		5500–6000	21	11500–12000	58

25. В течение времени  $\Delta t$  производилось наблюдение за восстанавливаемым изделием и было зафиксировано  $n(\Delta t)$  отказов. До начала наблюдения изделие проработало  $t_1$  ч, общее время наработки к концу наблюдения составило  $t_2$  ч. Требуется найти наработку на отказ.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 8.

Таблица 8

Исходные данные к задаче 25

Номер варианта	$t_1$ , ч	$t_2$ , ч	$n(\Delta t)$
1	350	1280	15
2	400	1600	3
3	1000	6400	9
4	770	4800	7
5	1200	5558	2
6	300	540	12
7	540	1200	5
8	300	3200	8
9	12	184	16
10	570	2000	27
11	25	710	4
12	128	1250	10
13	1500	9500	23
14	235	4850	7
15	750	5500	11
16	15	3300	9
17	200	1200	17
18	350	1500	2
19	2300	12300	13
20	75	1075	21
21	745	7245	18
22	500	5500	6
23	52	10200	28



Продолжение табл. 8

Номер варианта	$t_1, \text{ч}$	$t_2, \text{ч}$	$n(\Delta t)$
24	43	815	3
25	558	5558	9
26	210	3010	19
27	300	2300	11
28	50	450	5
29	2640	10640	24
30	128	7528	13

26. Изделие имеет среднюю наработку на отказ  $t_{cp}$  и среднее время восстановления  $t_g$ . Необходимо определить коэффициент готовности изделия.

Исходные данные приведены в табл. 9.

Таблица 9

Исходные данные к задаче 26

Номер варианта	$t_{cp}, \text{ч}$	$t_g, \text{ч}$
1	230	12
2	743	23
3	556	2,5
4	430	8
5	143	1,7
6	280	4
7	520	30
8	930	19
9	1840	35
10	630	25
11	448	7
12	1150	16
13	120	1,5

Продолжение табл. 9

Номер варианта	$t_{cp}$ , ч	$t_{\theta}$ , ч
14		18
15	112	2
16	1370	24
17	87	5,8
18	210	3,5
19	1540	28
20	890	12
21	225	3,8
22	192	5
23	1900	34
24	996	15
25	670	20
26	764	9
27	592	2,8
28	980	32
29	430	10
30	150	4

27. На испытание было поставлено  $N$  электромеханических устройств. В течение времени  $\Delta t$  произошло  $n(\Delta t)$  отказов, причем все вышедшие из строя элементы заменялись исправными. Определить параметр потока отказов электромеханических устройств.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 10.

Таблица 10

Исходные данные к задаче 27

Номер варианта	$N$	$n(\Delta t)$	$\Delta t$ , ч
1	5	8	1000–1500
2	100	56	2000–3000

Продолжение табл. 10

Номер варианта	$N$	$n(\Delta t)$	$\Delta t$ , ч
3	3	7	500–1000
4	50	24	250–500
5	8	3	100–150
6	20	1	25–175
7	15	12	200–700
8	30	36	1500–2500
9	120	78	1000–2000
10	5	13	10–510
11	10	7	200–300
12	15	24	50–1050
13	4	12	1150–1650
14	20	9	250–750
15	8	14	500–700
16	10	3	20–170
17	15	5	1000–1250
18	30	18	550–1050
19	12	2	200–450
20	50	11	50–150
21	125	64	1100–2100
22	25	3	25–75
23	10	7	1000–1250
24	80	23	250–500
25	6	7	500–750
26	5	2	100–300
27	25	34	1200–2000
28	150	21	100–1100
29	3	9	500–1000
30	10	15	125–1125

28. В течение некоторого времени проводилось наблюдение за работой четырех экземпляров восстанавливаемых изделий. Каждый из образцов проработал время  $t_i$  и имел  $n_i$  отказов. Тре-

буется определить наработку на отказ по данным наблюдения за работой всех изделий.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 11.

Таблица 11

Исходные данные к задаче 28

Номер варианта	$n_1$	$t_1, \text{ч}$	$n_2$	$t_2, \text{ч}$	$n_3$	$t_3, \text{ч}$	$n_4$	$t_4, \text{ч}$
1	1	300	3	600	2	400	1	200
2	3	90	6	270	4	140	5	230
3	12	960	15	1112	8	808	7	1490
4	6	144	5	125	3	80	8	176
5	8	176	4	150	4	112	8	216
6	6	144	5	125	3	80	9	198
7	10	1020	18	2700	26	3120	32	4000
8	32	4000	24	3480	16	2080	20	2745
9	7	110	5	80	4	60	8	120
10	18	2700	32	4000	24	3480	16	2080
11	3	720	4	1040	2	500	6	1800
12	1	300	3	600	6	2300	7	2450
13	10	1020	26	3120	24	3480	18	2700
14	5	1500	8	1920	3	180	4	680
15	3	1650	2	1200	4	2300	6	3400
16	12	500	15	610	10	480	19	750
17	24	3580	28	4000	17	3200	26	3800
18	5	72	4	60	7	92	8	96
19	19	190	11	120	15	145	10	100
20	2	58	6	145	4	90	1	42
21	11	3000	8	2500	19	3800	15	3300
22	23	5520	27	5580	25	5400	29	5630
23	9	720	14	840	18	990	7	680
24	7	90	8	100	16	180	13	150
25	22	1800	29	2570	31	2920	19	1740
26	24	3070	21	2800	17	2300	23	2940
27	7	1050	12	1500	2	630	5	880

Продолжение табл. 11

Номер варианта	$n_1$	$t_1, \text{ч}$	$n_2$	$t_2, \text{ч}$	$n_3$	$t_3, \text{ч}$	$n_4$	$t_4, \text{ч}$
28	10	1050	17	2500	25	3100	31	4200
29	2	580	7	1120	4	800	3	450
30	42	4050	34	3720	26	2180	31	2920

29. Электронная аппаратура состоит из  $k$  групп элементов. В процессе эксплуатации зафиксировано  $n$  отказов. Количество отказов в  $j$ -ой группе равно  $n_j$ ; среднее время восстановления элементов  $j$ -ой группы равно  $t_j$ . Требуется вычислить среднее время восстановления аппаратуры.

Исходные данные приведены в табл. 12.

Таблица 12

Исходные данные к задаче 29

Номер варианта	$k$	$n$	$n_1$	$t_1, \text{мин}$	$n_2$	$t_2, \text{мин}$
1	5	12	1	20	4	30
2	4	7	2	3521	3	4456
3	5	20	4	10	2	20
4	5	18	7	325	1	63
5	3	25	9	18	10	35
6	5	36	12	234	7	205
7	5	40	5	15	8	25
8	4	12	4	29	5	47
9	5	19	1	112	6	68
10	5	23	5	15	10	23
11	3	8	3	52	2	104
12	5	57	19	4541	14	3215
13	4	9	2	37	1	480
14	5	49	11	95	9	83
15	3	17	4	19	7	52

Продолжение табл. 12

Номер варианта	$k$	$n$	$n_1$	$t_1$ , МИН	$n_2$	$t_2$ , МИН
16	5	54	7	2073	16	1923
17	4	21	3	32	7	49
18	5	37	14	1158	3	872
19	5	18	3	72	5	40
20	3	6	2	246	1	92
21	5	15	1	15	7	64
22	5	27	12	2019	3	1784
23	5	32	18	35	4	76
24	4	16	5	989	2	524
25	5	68	14	18	8	40
26	3	9	3	145	4	129
27	5	43	11	93	13	75
28	5	28	2	1680	6	926
29	4	13	1	35	5	48
30	5	62	23	928	12	763

Продолжение табл. 12

Номер варианта	$n_3$	$t_3$ , МИН	$n_4$	$t_4$ , МИН	$n_5$	$t_5$ , МИН
1	3	16	2	36	2	40
2	1	2843	1	2719	—	—
3	6	50	3	30	5	15
4	3	154	5	89	2	92
5	6	52	—	—	—	—
6	11	214	2	193	4	284
7	12	60	6	40	9	20
8	2	93	1	78	—	—
9	4	142	5	64	3	105
10	3	65	3	107	2	38
11	3	87	—	—	—	—
12	7	2929	11	2763	6	1345
13	2	60	4	25	—	—

Продолжение табл. 12

Номер варианта	$n_3$	$t_3$ , МИН	$n_4$	$t_4$ , МИН	$n_5$	$t_5$ , МИН
14	7	112	13	74	9	68
15	6	25	–	–	–	–
16	12	1540	8	1142	11	1237
17	5	307	6	96	–	–
18	13	493	5	245	2	948
19	4	36	2	120	4	60
20	3	104	–	–	–	–
21	2	48	4	97	1	26
22	5	2432	3	2146	4	1973
23	2	17	1	33	7	84
24	1	305	8	1187	–	–
25	27	20	6	30	13	15
26	2	184	–	–	–	–
27	10	27	5	104	4	17
28	7	1008	2	74	11	1132
29	3	254	4	132	–	–
30	9	632	11	504	7	876

30. Интенсивность отказов электротехнического изделия  $\lambda_c$ , а среднее время его восстановления  $t_6$ . Необходимо вычислить коэффициент готовности электротехнического изделия, а также вероятность застать его в исправном состоянии в момент времени  $t$ .

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 13.

Таблица 13

Исходные данные к задаче 30

Номер варианта	$\lambda_c$ , 1/ч	$t_6$ , ч	$t$ , ч
1	0,01	15	10
2	0,005	60	25

Продолжение табл. 13

Номер варианта	$\lambda_c, 1/\text{ч}$	$t_e, \text{ч}$	$t, \text{ч}$
3	0,0028	28	100
4	0,02	20	10
5	0,0089	5	25
6	0,014	18	10
7	0,0037	30	150
8	0,002	85	50
9	0,0009	70	100
10	0,0018	12	25
11	0,0045	37	10
12	0,0093	10	75
13	0,0074	45	100
14	0,0027	28	50
15	0,015	50	10
16	0,0068	87	25
17	0,019	75	10
18	0,0032	62	75
19	0,0099	35	100
20	0,0087	80	50
21	0,008	95	125
22	0,0045	21	50
23	0,0064	40	25
24	0,0017	55	75
25	0,031	64	10
26	0,0092	100	50
27	0,0025	65	150
28	0,029	42	10
29	0,0015	25	25
30	0,001	90	100



#### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Данные методические указания предназначены как для практических занятий, так и для самостоятельной работы студентов. В результате изучения темы студент должен получить навыки самостоятельного применения основных положений теории надежности и уметь использовать расчетные методы при решении конкретных задач.

Изучение темы складывается из:

- самостоятельного изучения теоретического материала;
- самоконтроля теоретического материала;
- объяснения теоретического материала преподавателем;
- решения задач на практических занятиях;
- самостоятельного решения задач;
- получения зачета по теме.

При самостоятельной работе по изучению теоретического материала рекомендуется составить конспект. После изучения теоретического материала студент должен уметь ответить на контрольные вопросы.

Большое значение для усвоения темы имеет выполнение заданий, которые способствуют усвоению и закреплению теоретических материалов, а также дают навык практического применения основных теоретических положений. Теоретические положения, которые необходимо знать для решения задач, не выходят за пределы изложенных выше. Поэтому перед тем, как выполнять задания необходимо ознакомиться с теоретическим материалом.

Перед решением задачи должно быть приведено её условие. Решение задачи предварительно выполнить в общем виде с последующей подстановкой числовых значений соответствующих величин. Все вычисления должны доводиться до конца с точностью до третьего значащего знака. Для каждой величины, полученной в результате вычислений, необходимо указать её размерность.

Типовые задачи разбираются на практических занятиях, а часть дается на самостоятельную работу. Вариант задания для самостоятельной работы определяется преподавателем.

Зачет самостоятельной работы осуществляется в виде собеседования преподавателя со студентом. При невыполнении вы-

шеприведенных требований студенты к зачету не допускаются, а работы возвращаются на доработку.

В случае затруднения при изучении темы и решении задач следует обращаться на кафедру электроснабжения горных и промышленных предприятий для получения необходимых консультаций.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение невосстанавливаемым и восстанавливаемым электротехническим устройствам. Приведите примеры.
2. Перечислите показатели надежности для невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем.
3. Дайте определения вероятности отказа и вероятности безотказной работы.
4. Как определяют вероятность безотказной работы и вероятность отказа по статистическим данным об отказах?
5. Что понимают под частотой и интенсивностью отказов? Как их определяют?
6. Как определить частоту отказов, зная вероятность безотказной работы или вероятность отказа изделия?
7. Приведите выражение для вероятностной оценки интенсивности отказов.
8. Какова связь между интенсивностью отказов и вероятностью безотказной работы?
9. Дайте определение средней наработке до первого отказа.
10. Как рассчитать среднюю наработку до первого отказа по статистическим данным об отказах?
12. Какова связь между средней наработкой до первого отказа и вероятностью безотказной работы?
13. Дайте определение параметру потока отказов. Приведите выражение для его определения по статистическим данным об отказах.
14. Как связаны частота отказов и параметр потока отказов?
15. Приведите свойства, которыми обладает параметр потока отказов.
16. Что понимают под наработкой на отказ? Как ее определяют?

17. Приведите определения для коэффициентов готовности и вынужденного простоя. Как их определяют по статистическим данным?

18. Как определить значения коэффициента вынужденного простоя и коэффициента готовности согласно вероятностной трактовке?

19. Приведите формулу для вероятности застать систему в исправном состоянии.

20. В каких случаях показателями надежности восстанавливаемых систем могут быть показатели невосстанавливаемых систем?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник задач по теории надежности / под ред. А. М. Половко, И. М. Маликова. – М.: Изд-во «Советское радио», 1972. – 408 с.

2. Острейковский, В. А. Теория надежности [Электронный ресурс]: учебник для вузов по направлениям «Техника и технологии» и «Технические науки» / В. А. Острейковский. – М.: Абрис, 2012. – 463 с. – Режим доступа:

<http://www.biblioclub.ru/book/117498/>

3. Аполлонский, С. М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 140400 «Техническая физика» и 220100 «Системный анализ и управление» / С. М. Аполлонский, Ю. В. Куклев. – СПб.: Лань, 2011. – 448 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2034](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2034)

4. Малафеев, С. И. Надежность технических систем. Примеры и задачи [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 200100 «Приборостроение» и специальности 200103 «Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы» / С. И. Малафеев, А. И. Копейкин. – СПб.: Лань, 2012. – 320 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2778](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2778)

5. Половко, А. М. Основы теории надежности. Практикум : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направле-

нию подготовки 230100 (654600) «Информатика и вычислительная техника» / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.