

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

**Кафедра общей электротехники**

Составители

**С. Ю. Анушенко**  
**А. А. Шевченко**

## **НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Методические указания к практическим занятиям**

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

Кемерово 2014

## Рецензенты

Дабаров В. В. – старший преподаватель кафедры общей электротехники.

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

**Анушенко Софья Юрьевна, Шевченко Анастасия Александровна.**  
**Надежность систем электроснабжения:** методические указания к практическим занятиям [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», очной формы обучения / сост.: С, Ю. Анушенко, А. А. Шевченко. – Кемерово : КузГТУ, 2014. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены методические указания для подготовки к практическим занятиям и их проведению, темы практических занятий с указанием цели, содержания, задач и контрольных вопросов для каждого занятия, а также учебно-методическое обеспечение дисциплины.

© КузГТУ, 2014  
© Анушенко С. Ю.,  
© Шевченко А. А.,  
составление, 2014

## Методические указания к практическим занятиям

На практических занятиях по дисциплине «Надежность систем электроснабжения» изучаются следующие темы:

1. Применение основных формул и теорем теории вероятностей для решения задач надежности;
2. Определение количественных показателей надежности невосстанавливаемых систем по статистическим данным об отказах;
3. Определение количественных показателей надежности восстанавливаемых систем по статистическим данным об отказах;
4. Расчет наработки по экспоненциальному закону распределения и определение его параметров;
5. Расчет наработки по нормальному закону распределения и определение его параметров;
6. Определение вида закона распределения наработки до отказа;
7. Расчет показателей надежности невосстанавливаемых систем при основном соединении элементов;
8. Расчет показателей надежности невосстанавливаемых резервируемых систем;
9. Контроль надежности на соответствие техническим условиям.

Каждая из вышеприведенных тем изучается, как на практических занятиях, так и является частью самостоятельной работы.

Изучение каждой из тем складывается из:

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

Вся необходимая информация о содержании, объеме, требованиях к подготовке к практическим занятиям и их защите доводится до сведения студентов на занятиях.

Самостоятельная работа заключается в поиске необходимой информации в рекомендуемых литературных источниках, а также в другой доступной литературе, дальнейшем ее изучение и конспектировании. Конспект должен содержать наименование и цель прак-

тического занятия, краткое изложение темы с приведением необходимого графического материала и формул, выводы и список использованной литературы. Конспект поможет при участии в дискуссиях, ответах на вопросы на практических занятиях и решении задач, а также при сдаче зачета или экзамена. По окончании написания конспекта для самопроверки студенту необходимо ответить на контрольные вопросы.

Большое значение для усвоения каждой из тем практических занятий имеет выполнение заданий, которые способствуют усвоению и закреплению теоретического материала, а также дают навык практического применения основных теоретических положений.

Типовые задачи по каждой из тем разбираются на практических занятиях. 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.

В результате изучения каждой из тем дисциплины студент должен получить навыки самостоятельного применения основных положений теории надежности и уметь использовать расчетные методы при решении конкретных задач.

Практические занятия проводятся в интерактивной форме с обсуждением рассматриваемых вопросов и анализом конкретных задач. Форма текущего контроля: собеседование, проверка и защита выполненных работ.

К зачету по теме студенты допускаются при выполнении вышеприведенных требований. Зачет по теме осуществляется в виде собеседования преподавателя со студентом.

## Тема 1. Применение основных формул и теорем теории вероятностей для решения задач надежности

Цель: изучение теоретических положений основ теории вероятностей (основные формулы и теоремы) применительно к задачам надежности.

В результате студенты должны уметь решать типовые задачи, соответствующие данной теме.

### Содержание

Событие, случайное событие, вероятность появления события. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Формула полной вероятности. Теорема гипотез (формула Бейеса). Формула Бернулли. Определение вероятности появления хотя бы одного события. Наивероятнейшее число появления события в независимых испытаниях.

### Задачи:

1. В распределительном пункте установлено пять автоматических выключателей. Нормальная работа потребителей обеспечивается при их исправном состоянии. При монтаже распределительного пункта выключатели выбирались из партии объемом в 1000 штук, в которой было 950 исправных выключателей и 50 не исправных. Найти вероятность исправной работы распределительного пункта.

2. На складе хранится 500 аккумуляторов. После одного года хранения 20 штук вышло из строя. Найти вероятность того, что наугад взятый после одного года хранения аккумулятор окажется исправным, если известно, что после шести месяцев хранения было изъято пять аккумуляторов ставшими неисправными.

3. В мастерской находится 4 пускателя, прошедших испытания на надежность, и 5 неиспытанных. Наугад из этого общего количества взяли два пускателя. Найти вероятность того, что один из них испытан, а другой нет.

4. В электроустановке четыре блокировки, срабатывающие в определенной последовательности. Каждая последующая ступень срабатывает при отказе предыдущей. Найти вероятность того, что сработает первая ступень, вторая ступень, третья ступень и четвертая ступень при условии, что вероятности исправной работы каж-

дой отдельно взятой блокировки составляют: 0,92; 0,95; 0,96; 0,96.

5. Дана партия из 50 деталей. Из этой партии наугад выбирают 5 деталей и определяют их качество. Если среди выбранных контролером деталей нет ни одной бракованной, то вся партия принимается. В противном случае партия посылается на дополнительную проверку. Какова вероятность того, что партия деталей, содержащая 7 бракованных изделий, будет принята контролером с первого раза.

6. Устройство состоит из пяти элементов, из которых два изношены. При включении устройства включаются случайным образом два элемента. Найти вероятность того, что включенными окажутся неизношенные элементы.

7. Имеется партия из 50 деталей, причем 20 из них бракованные. Из этой партии выбирают 10 деталей, а затем из этих 10 деталей для контроля выбирается 1 деталь. Если эта деталь исправна, то партия проходит проверку. Найти вероятность того, что партия будет принята.

8. На предприятии брак представляет 1,5 % от общего выпуска изделий. Общий выпуск изделий первого сорта из небракованных составляет 80 %. Какова вероятность того, что взятое наугад изделие окажется изделием первого сорта, если оно взято из общей массы изготавливаемой продукции.

9. Прибор может работать в двух режимах: нормальном и ненормальном. Нормальный режим наблюдается в 80 % всех случаев работы прибора, ненормальный – в 20 %. Вероятность выхода прибора из строя за время  $t$  в нормальном режиме равна 0,1, в ненормальном – 0,7. Найти полную вероятность выхода прибора из строя за время  $t$ .

10. Завод изготавливает изделия, каждое из которых должно подвергаться четырем видам испытаний. Первое испытание изделие проходит благополучно с вероятностью 0,9; второе – с вероятностью 0,95; третье – с вероятностью 0,8 и четвертое – с вероятностью 0,85. Найти вероятность того, что изделие пройдет благополучно: а) все четыре испытания; б) ровно два испытания (из четырех); в) не менее двух испытаний (из четырех).

11. При опробовании релейной защиты в действии производят 6 испытаний, создавая при этом режим искусственного короткого замыкания. Известно, что релейная защита реагирует на короткие замыкания с вероятностью 0,8 в каждом испытании. Найти вероят-

ность того, что релейная защита сработает: хотя бы один раз, ровно четыре раза, не менее четырех раз. Определить наиболее вероятное число появления события в 6 испытаниях.

12. Прибор состоит из 10 узлов. Надежность (вероятность безотказной работы в течение времени  $t$ ) для каждого узла равна  $p$ . Узлы выходят из строя независимо один от другого. Найти вероятность того, что за время  $t$ : а) откажет хотя бы один узел; б) откажет ровно один узел; в) откажут ровно два узла; г) откажет не менее двух узлов.

13. Вероятность того, что расход электроэнергии в продолжение одних суток не превысит установленной нормы, равна 0,75. Найти вероятность того, что в ближайшие 6 суток расход электроэнергии в течение 4 суток не превысит нормы.

14. В электрическую цепь последовательно включены три элемента, работающие независимо один от другого. Вероятность отказов первого, второго и третьего элементов соответственно равны:  $p_1 = 0,1$ ;  $p_2 = 0,15$ ;  $p_3 = 0,2$ . Найти вероятность того, что тока в цепи не будет.

15. Две цепи электроснабжения работают параллельно на общую нагрузку. Вероятность аварийного простоя одной цепи  $q_1 = 0,6 \cdot 10^{-3}$ , второй  $q_2 = 0,8 \cdot 10^{-3}$ . Принимая аварийные состояния цепей независимыми, определить вероятность аварийного простоя двухцепной электропередачи для двух случаев: а) отказ электропередачи происходит при отказе одной из цепей (любой); б) отказ электропередачи происходит при отказе только обеих цепей.

16. Силовые трансформаторы изготавливаются тремя заводами, причем вероятность того, что трансформатор выпущен на первом заводе, равна 0,2, на втором – 0,3, на третьем – 0,5. Вероятности того, что при определённых условиях работы трансформатор сохранит работоспособность в течение 25 лет, для первого, второго и третьего заводов соответственно равны: 0,9; 0,92; 0,808. Чему равна вероятность того, что поступивший для монтажа трансформатор сохранит работоспособность в течение 25 лет?

Контрольные вопросы:

1. Дайте определения: событие, случайное событие, вероятность появления события.

2. Что называют числом сочетаний?
3. Какие события называют совместными, а какие несовместными?
4. Приведите примеры сложения и умножения вероятностей.
5. Запишите формулу полной вероятности. Когда ее применяют?
6. В каких случаях применяется формула Бернулли?
7. Сформулируйте теорему гипотез.
8. По какой формуле определяют вероятность появления хотя бы одного события? Дайте ее формулировку.
9. Дайте определение наивероятнейшего числа наступления события в независимых испытаниях?
10. Как определяют наивероятнейшее число появления события в независимых испытаниях по точной и упрощенной формулам?

## **Тема 2. Определение количественных показателей надежности невосстанавливаемых систем по статистическим данным об отказах**

Цель: изучение теоретических положений по определению количественных показателей надежности по статистическим данным об отказах невосстанавливаемых изделий или систем.

В результате изучения данной темы студенты должны уметь решать типовые задачи.

### Содержание

Невосстанавливаемые системы и их особенности. Критерии надежности невосстанавливаемых изделий и систем: вероятность безотказной работы, частота отказов, интенсивность отказов, средняя наработка до первого отказа.

### Задачи:

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 трансформаторов 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

$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , ч	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , 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. Имеются статистические данные об отказах трех групп одинаковых изделий, приведенные в табл. 2. 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 2

Исходные данные к задаче 10

$\Delta t_i$ , 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
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

11. В результате наблюдения за 45 образцами радиоэлектронного оборудования получены данные до первого отказа всех 45 образцов, сведенные в табл. 3. 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.

Исходные данные к задаче 11

$\Delta t_i$ , 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

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение невосстанавливаемым электротехническим устройствам. Приведите примеры.

2. Перечислите показатели надежности для невосстанавливаемых 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?

### Тема 3. Определение количественных показателей надежности восстанавливаемых систем по статистическим данным об отказах

Цель: изучение теоретических положений по определению количественных показателей надежности по статистическим данным об отказах восстанавливаемых изделий или систем.

В результате студенты должны уметь решать типовые задачи, соответствующие данной теме.

### Содержание

Восстанавливаемые системы и их особенности. Критерии надежности восстанавливаемых изделий и систем: наработка на отказ, параметр потока отказов, функция готовности, коэффициент готовности.

#### Задачи:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

6. 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.

7. 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 7

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

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

9. Коэффициент готовности сложного восстанавливаемого изделия  $K_2 = 0,9$ . Среднее время его восстановления  $t_g = 100$  ч. Требуется найти вероятность застать изделие в исправном состоянии в момент времени  $t = 12$  ч.

10. 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.

11. 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 11

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

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение восстанавливаемым электротехническим устройствам. Приведите примеры.

2. Перечислите показатели надежности для восстанавливаемых систем.

3. Дайте определение параметру потока отказов. Приведите выражение для его определения по статистическим данным об отказах.

4. Как связаны частота отказов и параметр потока отказов?

5. Приведите свойства, которыми обладает параметр потока отказов.

6. Что понимают под наработкой на отказ? Как ее определяют?

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

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

9. Приведите формулу для вероятности заставить систему в исправном состоянии.

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

#### Тема 4. Расчет наработки по экспоненциальному закону распределения и определение его параметров

Цель: изучение теоретических положений по определению параметров для экспоненциального закона распределения.

В результате студенты должны уметь решать типовые задачи, соответствующие данной теме.

##### Содержание

Экспоненциальный закон распределения, его особенности. Определение параметров экспоненциального распределения: вероятность безотказной работы, плотность распределения, частота отказов, функция распределения, средняя наработка до отказа.

##### Задачи:

1. Система состоит из 5 приборов, причем отказ любого одного из них ведет к отказу системы. Известно, что первый прибор отказал 34 раза в течение 952 часов работы, второй – 24 раза в течение 960 часов работы, а остальные приборы в течение 210 часов работы отказали 4, 6 и 5 раз соответственно. Требуется определить наработку на отказ системы в целом, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из пяти приборов.

2. Пусть время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром  $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5}$  1/ч. Требуется вычислить количественные характеристики надежности элемента  $P(t)$ ,  $a(t)$ ,  $T_{cp}$ , если  $t = 500, 1000, 2000$  ч.

3. Средняя наработка до первого отказа автоматической системы управления равна 640 часов. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо определить вероятность безотказной работы в течение 120 часов, частоту отказов для момента времени 120 часов и интенсивность отказов.

4. Вероятность безотказной работы автоматической линии изготовления цилиндров автомобильного двигателя в течение 120 часов равна 0,9. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется рассчитать интенсивность отказов и частоту отказов линии для момента времени 120 часов.

5. Схема автоматизации состоит из 45 элементов, средняя интенсивность отказов которых  $0,28 \cdot 10^{-6}$  1/ч. Требуется вычислить

вероятность безотказной работы в течение времени  $t = 50$  ч и среднюю наработку до первого отказа.

6. Интенсивность отказов изделия  $\lambda = 0,82 \cdot 10^{-3}$  1/ч = const. Необходимо найти вероятность безотказной работы в течение 6 ч, частоту отказов при  $t = 100$  ч. и среднюю наработку до первого отказа.

7. Испытания 8 электронных устройств проводилось до 5 отказов каждый. Суммарная наработка всех устройств составила 4600 ч. Оценить среднюю наработку до отказа, если закон распределения отказов испытываемых устройств экспоненциальный.

8. Силовой трансформатор в городской электрической сети работает в течение времени  $t$ , которое является случайной величиной и распределено по показательному закону с плотностью  $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$ , где  $\lambda = 0,03$  1/год. Определить среднюю продолжительность эксплуатации трансформатора, вероятность надежной работы трансформатора в течение первых 10 лет, а также вероятность отказа трансформатора в период между 10 и 20 годами эксплуатации.

Контрольные вопросы:

1. Какова особенность экспоненциального распределения?
2. Как определить вероятность безотказной работы для экспоненциального распределения?
3. Как определить среднюю наработку до отказа для экспоненциального закона распределения?
4. Как рассчитываются плотность и функция распределения для экспоненциального закона?
5. Как определить частоту отказов для экспоненциального закона распределения?
6. Изобразите графические зависимости параметров, характеризующих экспоненциальное распределение.

### **Тема 5. Расчет наработки по нормальному закону распределения и определение его параметров**

Цель: изучение теоретических положений по определению параметров для нормального закона распределения.

В результате студенты должны уметь решать типовые задачи,



соответствующие данной теме.

### Содержание

Нормальный закон распределения, его особенности. Определение параметров нормального распределения: вероятность безотказной работы, плотность распределения, функция распределения, средняя наработка до отказа, среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы. Определение параметров при полных и усеченных выборках.

Задачи:

1. На испытание поставлено пять пускателей, вероятность отказов которых за время  $t$  равна  $0,8$ . Построить ряд распределения отказов пускателей и найти функцию распределения числа отказов.

2. На испытание было поставлено 10 реле. Вероятность исправной работы за время испытания  $t$  равно  $0,6$ . Построить ряд распределения отказов реле и функцию распределения числа отказов.

3. Ошибка омметра в определении сопротивления подчинена нормальному закону с параметрами  $m = 50$  Ом и  $\sigma = 10$  Ом. Какова вероятность того, что измеренное омметром сопротивление проводника будет отличаться от истинного не более чем на 20 Ом.

4. При испытании десяти механических элементов, отказы которых распределены нормально, получены следующие значения времени безотказной работы в часах:  $t_1 = 150$ ,  $t_2 = 100$ ,  $t_3 = 70$ ,  $t_4 = 200$ ,  $t_5 = 100$ ,  $t_6 = 100$ ,  $t_7 = 150$ ,  $t_8 = 200$ ,  $t_9 = 80$ ,  $t_{10} = 150$ . Требуется оценить  $T$  и  $\sigma$  и определить для них двусторонние доверительные интервалы с вероятностью  $\alpha = 0,9$ .

5. В результате испытаний 15 экземпляров электрохимических элементов были получены следующие значения наработки в часах: 10,2; 12,3; 17,1; 18,4; 20,3; 22,7; 23,1; 25,5; 26,4; 28,9; 30,3; 32,5; 33,3; 38,1; 41,0. Определить оценку средней наработки до отказа ( $\bar{T}$ ) и дисперсию ( $\sigma^2$ ), а также нижнюю границу  $T$  и верхнюю границу  $\sigma$  с вероятностью  $\alpha = 0,95$ .

6. Испытания 100 ламп накаливания продолжались в течение времени  $t_0 = 500$  ч. За время испытаний вышло из строя 5 ламп с наработкой до отказа в часах соответственно  $t_1 = 50$ ,  $t_2 = 150$ ,  $t_3 = 250$ ,  $t_4 = 300$  и  $t_5 = 450$ . Определить среднюю наработку до от-

каза ламп и среднее квадратическое отклонение, полагая, что срок службы ламп подчиняется нормальному закону.

7. Выборка объемом 25 экземпляров из партии механических устройств подвергалась испытаниям с целью определения доверительного интервала для средней наработки до отказа. По результатам испытаний найдены  $T = 1000$  ч и  $S = 100$  ч. Найти доверительные границы для доверительной вероятности  $\alpha = 0,99$ , если закон распределения отказов принят нормальным.

8. Известно, что распределение наработки до отказа нормальное с  $\sigma_0 = 150$  ч. Требуется оценить объем испытаний изделий, необходимый для оценки средней наработки до отказа с ошибкой не более 75 ч. при доверительной вероятности  $\alpha = 0,8$ .

Контрольные вопросы:

1. Какова особенность нормального закона распределения?
2. Как определить вероятность безотказной работы для нормального закона распределения?
3. Как определить среднюю наработку до отказа для нормального закона распределения?
4. Как рассчитываются плотность и функция распределения для нормального закона?
5. Как определить среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы для нормального закона распределения?
6. Как определяют среднюю наработку до отказа при полных выборках?
7. Как определяют среднюю наработку до отказа и среднее квадратическое отклонение по методу квантилей при усеченных выборках?
8. Как выглядят графики зависимостей, характеризующих нормальное распределение?

### **Тема 6. Определение вида закона распределения наработки до отказа**

Цель: умение определять закон распределения, как графическим, так и аналитическим способом на основе опытных данных.

В результате изучения данной темы студенты должны уметь решать типовые задачи.

## Содержание

Основные законы распределения отказов изделий. Способы определения вида закона распределения отказов: графические и аналитические. Проверка гипотезы о законе распределения при полных выборках. Проверка допустимости принятого закона распределения отказов по критериям согласия Пирсона и Колмогорова.

Задачи:

1. В результате опыта получен следующий вариационный ряд времен исправной работы изделия в часах:

2; 3; 3; 5; 6;  
7; 8; 8; 9; 9;  
13; 15; 16; 17; 18;  
20; 21; 25; 28; 35;  
37; 53; 56; 69; 77;  
86; 98; 119.

Требуется установить закон распределения времени безотказной работы.

2. В результате опыта получен следующий вариационный ряд времен безотказной работы изделия в часах:

115; 232; 328; 368; 393;  
404; 421; 457; 483; 511;  
527; 540; 544; 572; 598;  
605; 619; 633; 660; 681;  
736; 791; 942.

Необходимо определить закон распределения времени безотказной работы.

3. В результате опыта получен следующий вариационный ряд времен восстановления в минутах:

10; 20; 35; 35; 35;  
35; 35; 35; 45; 45;  
45; 53; 60; 60; 60;  
60; 70; 70; 70; 75;  
75; 85; 85; 90; 95.

Требуется установить закон распределения времени восстановления.

4. Используя данные задачи 1 путем построения гистограмм и их аппроксимации аналитическими выражениями, установить закон распределения времени исправной работы.

5. Результаты ускоренных испытаний на надежность 150 реле (до отказа каждого изделия) распределены между 250 и 520 ч. Определить по гистограмме закон распределения отказов. Данные, необходимые для решения задачи, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Исходные данные к задаче 5

$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$
245 – 270	1	395 – 420	17
270 – 295	0	420 – 445	34
295 – 320	6	445 – 470	12
320 – 345	22	470 – 495	16
345 – 370	12	495 – 520	8
370 – 395	22		

6. Нарботки 50 двигателей в условиях эксплуатации их до капитального ремонта представлены рядом 23, 26, 47, 50, 50, 78, 98, 100, 103, 132, 164, 173, 267, 274, 299, 361, 368, 568, 568, 590, 600, 616, 620, 672, 691, 798, 800, 812, 833, 984, 1151, 1155, 1178, 1244, 1272, 1319, 1480, 1490, 1546, 1666, 1700, 1720, 1902, 2120, 2168, 2289, 2800, 2925, 3124, 3520 ч. Определить по критерию Пирсона, согласуются ли экспериментальные данные с экспоненциальным законом распределения.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите наиболее распространенные законы распределения отказов изделий.
2. Какова последовательность действий при статистической обработке информации о надежности?
3. Приведите алгоритм определения закона распределения.
4. Поясните, как производят проверку гипотезы о законе распределения случайной величины по координатным сеткам?
5. В чем заключается проверка вида закона распределения аналитическим способом?
6. Расскажите, как происходит определение закона распределения сравнением гистограмм функций с их теоретическими графиками?
7. Как производят проверку допустимости предполагаемого закона распределения отказов, используя критерий согласия Кол-

могорова?

8. Как производят проверку допустимости предполагаемого закона распределения отказов, используя критерий согласия Пирсона?

### **Тема 7. Расчет показателей надежности невосстанавливаемых систем при основном соединении элементов**

Цель: приобретение теоретических знаний по расчету показателей надежности невосстанавливаемых систем при основном соединении элементов, а также получение практических навыков при решении задач.

В результате изучения данной темы студенты должны уметь решать типовые задачи.

#### Содержание

Основное соединение элементов: определение и основные показатели надежности. Показатели надежности невосстанавливаемых систем с основным соединением элементов при постоянной интенсивности отказов (экспоненциальном законе распределения). Определение показателей надежности высоконадежных систем. Приближенные формулы расчета надежности систем, имеющих основное соединение элементов.

Задачи:

1. Система состоит из 12600 элементов, средняя интенсивность отказов которой  $\lambda_{cp} = 0,32 \cdot 10^{-6}$  1/ч. Необходимо определить вероятность безотказной работы в течение  $t = 50$  ч, а также среднюю наработку до первого отказа.

2. Система состоит из  $N = 5$  блоков. Надежность блоков характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени  $t$ , которая равна:  $p_1(t) = 0,98$ ;  $p_2(t) = 0,99$ ;  $p_3(t) = 0,97$ ;  $p_4(t) = 0,985$ ;  $p_5(t) = 0,975$ . Требуется определить вероятность безотказной работы системы.

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 за-

висят от времени и определяются следующими формулами:  $\lambda_2 = 0,23 \cdot 10^{-4} t$  1/ч,  $\lambda_3 = 0,06 \cdot 10^{-6} t^{2,6}$  1/ч. Необходимо рассчитать вероятность безотказной работы изделия в течение 100 часов.

4. Система состоит из трех блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна  $T_1 = 160$  ч,  $T_2 = 320$  ч,  $T_3 = 600$  ч. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы.

5. Система состоит из двух устройств. Вероятности безотказной работы каждого из них в течение времени  $t = 100$  ч равны:  $p_1(100) = 0,95$ ;  $p_2(100) = 0,97$ . Справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа системы.

6. Вероятность безотказной работы одного элемента в течение времени  $t$  равна  $p(t) = 0,9997$ . Требуется определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из  $N = 100$  таких же элементов.

7. Вероятность безотказной работы системы в течение времени  $t$  равна  $P_c(t) = 0,95$ . Система состоит из  $N = 120$  равнонадежных элементов. Необходимо найти вероятность безотказной работы элемента.

8. В системах могут быть использованы только элементы, интенсивность отказов которых равна  $\lambda_i = 10^{-5}$  1/ч. Системы имеют число элементов  $N_1 = 500$  и  $N_2 = 2500$ . Требуется определить среднюю наработку до первого отказа и вероятность безотказной работы в конце первого часа  $P_c(1)$ .

9. В системе  $N_c = 2500$  элементов и вероятность безотказной работы ее в течение одного часа  $P_c(1) = 0,98$ . Предполагается, что все элементы равнонадежны. Требуется вычислить среднюю наработку до первого отказа системы  $T_{cp.c}$  и интенсивность отказов элементов  $\lambda$ .

10. Система состоит из пяти приборов, вероятность исправной работы которых в течение времени  $t = 100$  ч равны:  $p_1(100) = 0,9996$ ;  $p_2(100) = 0,9998$ ;  $p_3(100) = 0,9996$ ;  $p_4(100) = 0,999$ ;  $p_5(100) = 0,9998$ . Требуется определить частоту отказов системы в момент времени  $t = 100$  ч. Предполагается, что отказы приборов независимы и для них справедлив экспоненциаль-

ный закон надежности.

Контрольные вопросы:

1. Какое устройство называют с основным соединением элементов?
2. Как можно определить вероятность безотказной работы для невосстанавливаемых систем при основном соединении элементов?
3. Как определяют количественные характеристики надежности, если время возникновения отказов подчинено экспоненциальному закону?
4. Как можно вычислить основные количественные характеристики надежности для высоконадежных систем?
5. В каких случаях можно производить расчеты по приближенным формулам?
6. Приведите приближенные формулы расчета надежности систем.

### **Тема 8. Расчет показателей надежности невосстанавливаемых резервируемых систем**

Цель: изучение различных способов резервирования и основных расчетных формул для них.

В результате студенты должны уметь решать задачи, соответствующие данной теме.

#### Содержание

Резервирование, основные понятия. Способы резервирования: общее и раздельное; с целой и дробной кратностью; постоянное и замещением, скользящее резервирование. Кратность резервирования. Нагруженный, облегченный и ненагруженный резерв.

Задачи:

1. Схема расчета надежности приведена на рис. 1. Необходимо найти вероятность безотказной работы изделия, если известны вероятности отказов элементов.

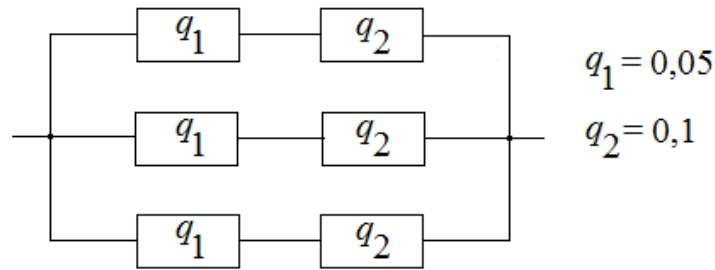


Рис. 1. Схема расчета надежности к задаче 1

2. Схема расчета надежности показана на рис. 2, где приведены данные о вероятностях безотказной работы элементов. Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделия.

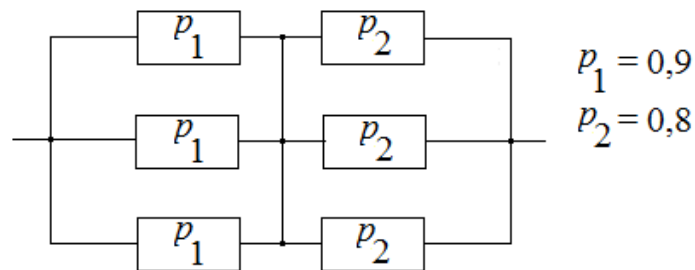


Рис. 2. Схема расчета надежности к задаче 2

3. Дана система, схема расчета надежности которой изображена на рис. 3. Необходимо найти вероятность безотказной работы системы при известных вероятностях безотказной работы ее элементов.

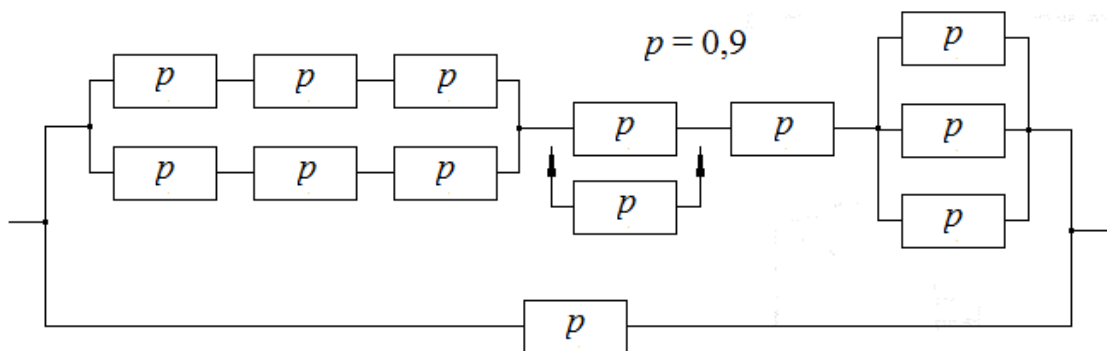


Рис. 3. Схема расчета надежности к задаче 3

4. Вероятность безотказной работы преобразователя постоянного тока в переменный в течение  $t = 1000$  часов равна  $0,95$ , т.е.  $P(1000) = 0,95$ . Для повышения надежности системы электроснаб-



жения на объекте имеется такой же преобразователь, который включается в работу при отказе первого. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа системы, состоящей из двух преобразователей.

5. Схема расчета надежности устройства приведена на рис. 4. Предполагается, что последствие отказов отсутствует и все элементы расчета равнонадежны. Интенсивность отказов элемента  $\lambda = 1,35 \cdot 10^{-3}$  1/ч. Требуется определить наработку до первого отказа резервированного устройства.

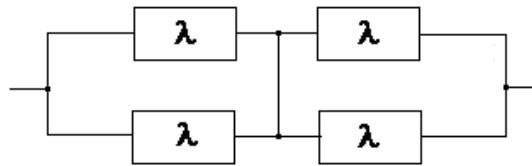


Рис. 4. Схема расчета надежности к задаче 5

6. Схема расчета надежности резервированного устройства приведена на рис. 5. Интенсивности отказов элементов имеют следующие значения:  $\lambda_1 = 0,23 \cdot 10^{-3}$  1/ч,  $\lambda_2 = 0,5 \cdot 10^{-4}$  1/ч,  $\lambda_3 = 0,4 \cdot 10^{-3}$  1/ч. Предполагаем, что последствие отказов элементов отсутствует. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа устройства.

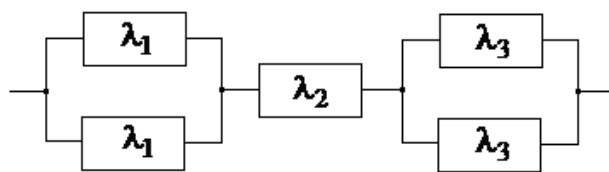


Рис. 5. Схема расчета надежности к задаче 6

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под резервированием?
2. Дайте определение следующим видам элементов: основной, резервируемый, резервный.
3. Какие виды резервирования Вам известны?
4. Что понимают под общим резервированием, отдельным резервированием?
5. Что такое кратность резервирования?

6. Укажите отличия резервирования с целой и дробной кратностью.

7. Что понимают под постоянным резервированием и резервированием замещением?

8. Что понимают под нагруженным, ненагруженным и облегченным резервом.

9. Дайте определение скользящему резервированию.

10. Приведите последовательность расчета системы на надежность, имеющей смешанное резервирование.

### **Тема 9. Контроль надежности на соответствие техническим условиям**

Цель: изучение особенностей расчета контроля надежности по методу однократной выборки и последовательного метода контроля надежности.

В результате студенты должны уметь решать типовые задачи, соответствующие данной теме.

#### Содержание

Контроль надежности, его цели и задачи. Основные статистические методы контроля надежности: метод однократной выборки, метод двукратной выборки, последовательный метод (контроль числа дефектных изделий, контроль по наработке).

#### Задачи:

1. Партия изделий, надежность которой нужно проконтролировать, состоит из 50 экземпляров. Партия считается хорошей, если в ней содержится не более 10 % дефектных изделий, и плохой – при содержании 20 % дефектных изделий. Риск поставщика и риск заказчика приняты равными и составляют  $\alpha = \beta = 0,1$ . Определить приемное ( $A_0$ ) и браковочное ( $A_1$ ) числа дефектных изделий в выборке объемом  $n = 20$  экземпляров.

2. Последовательному контролю надежности подлежит партия, состоящая из  $N=100$  невосстанавливаемых изделий. Партия считается хорошей при доле дефектных изделий  $q_0 = 0,05$  и плохой – при  $q_1 = 0,1$ . Риск поставщика равен риску заказчика и составляет 0,1. Требуется определить приемочные и браковочные числа испытаний при числе дефектных изделий  $d_m = 0, 1, 2, 3, 4$  и 5, а также

построить график контроля по характеристическим точкам и принять решение в случае появления четырех отказов при 25 испытаниях.

3. Контролю надежности подлежит партия из  $N = 200$  изделий. Необходимо определить приемочное ( $A_0$ ) и браковочное ( $A_1$ ) числа дефектных изделий в выборке из  $n = 40$  изделий. Партия считается хорошей, если в ней содержится 5 %, и плохой – если 10 % дефектных изделий. Риск поставщика принять равным 0,2, а риск заказчика – 0,1.

4. С целью контроля надежности проведены испытания 20 восстанавливаемых объектов, при этом зарегистрировано 2 отказа. Необходимо решить, принять партию или забраковать, если контроль производится в интересах заказчика. Партия считается плохой, когда вероятность отказа в каждом одиночном испытании составляет  $q_1 \geq 0,1$ . Решение должно быть принято с риском  $\beta = 0,08$ .

5. В эксплуатации находится 50 непрерывно и одновременно работающих восстанавливаемых технических устройств, замена которых при отказе производится практически мгновенно. Надежность устройств считается высокой и доработка не требуется при средней наработке до отказа  $T_0 = 400$  ч, а при  $T_1 = 200$  ч необходима доработка. Закон распределения отказов принять экспоненциальным. Для выявления необходимости доработки эксплуатируемых технических устройств нужно осуществить контроль их надежности по наработке. Решение должно быть принято со значениями риска  $\alpha = 0,05$  и  $\beta = 0,1$ . План контроля необходимо представить в табличной форме.

Контрольные вопросы:

1. Какова цель контроля надежности?
2. Что понимают под ошибками первого и второго рода?
3. Какие статистические методы контроля надежности существуют?
4. Расскажите о достоинствах и недостатках каждого из методов контроля надежности.
5. Что называют планом контроля?
6. Что понимают под совокупностью условий испытаний?
7. В чем заключается контроль надежности по методу однократной выборки?
8. На чем основан последовательный метод контроля надеж-

ности?

9. Расскажите про контроль числа дефектных изделий.

10. Как осуществляется последовательный контроль по наработке?

### Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### Основная литература

1. 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/>

2. 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)

3. Надежность систем энергетики [Электронный ресурс] : сборник рекомендуемых терминов / отв. ред. Н. И. Воропай. – М.: Энергия, 2007. – 194 с. – Режим доступа:

<http://www.biblioclub.ru/book/58376/>

#### Дополнительная литература

4. Разгильдеев, Г. И. Надежность электромеханических систем и электрооборудования: учеб. пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. / Г. И. Разгильдеев; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2008. – 175 с.

5. Каштанов, В. А. Теория надежности сложных систем [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – М.: Физматлит, 2010. – 608 с. – Режим доступа:

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68415>

6. Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике: учеб. пособие для электроэнергет. специальностей вузов / Ю. Б. Гук. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.

7. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для студентов вузов. – 12-е изд., перераб. /

В. Е. Гмурман. – М.: Юрайт, 2010. – 479 с.

8. Меламедов, И. М. Физические основы надежности. Введение в физику отказов / И. М. Меламедов. – Л.: Энергия, 1970. – 152 с.

9. Надежность взрывозащищенного и рудничного электрооборудования / по общ. ред. Б. Н. Ванеева. – М.: Недра, 1979. – 302 с.

10. Хошмухамедов, И. М. Эксплуатационная надежность и техническая диагностика электросилового оборудования / И. М. Хошмухамедов. – М.: Горная книга, 2010. – 307 с.

11. 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)

12. Сборник задач по теории надежности / под ред. А. М. Половко, И. М. Маликова. – М.: Изд-во «Советское радио», 1972. – 407 с.