

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания
к практическим занятиям
по направлению подготовки 23.03.01
«Технология транспортных процессов»

Пенза 2016

УДК 629.3.004.1(075.8)

ББК 30.14+30.82я73

О-93

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент: кандидат технических наук, доцент
кафедры «Эксплуатация автомо-
бильного транспорта» В.В. Лянден-
бурский (ПГУАС)

Оценка надежности технических систем: метод. указания к
О-93 практическим занятиям по направлению подготовки 23.03.01 «Тех-
нология транспортных процессов» /А.С.Ширшиков. – Пенза:
ПГУАС, 2016. – 36 с.

Излагается материал практических занятий по дисциплине «Оценка надежности технических систем».

Методические указания подготовлены на кафедре «Организация и безопасность движения» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов», изучающих дисциплину «Оценка надежности технических систем», а также для студентов других специальностей.

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2016

© Ширшиков А.С., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью практических занятий по дисциплине «Оценка надежности технических систем» является формирование у студентов практических навыков по расчету показателей надежности.

Материал практических занятий подготовлен в соответствии с программой дисциплины «Оценка надежности технических систем» и предназначен для использования студентами первого курса, обучающимися по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов», при изучении дисциплины «Оценка надежности технических систем», относящейся к обязательным дисциплинам вариативной части.

Изучение дисциплины «Оценка надежности технических систем» способствует формированию компетенций, предусмотренных Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенции «способность к расчету и анализу показателей качества пассажирских и грузовых перевозок, исходя из организации и технологии перевозок, требований обеспечения безопасности перевозочного процесса».

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные термины и определения теории надежности;
- показатели надежности;
- законы распределения случайной величины, используемые при оценке надежности;
- структурные схемы надежности;
- способы прогнозирования надежности;
- методы повышения надежности систем при проектировании и при эксплуатации;
- виды испытаний;
- конструктивные и технологические методы обеспечения надежности.

Уметь:

- рассчитывать основные показатели надежности;
- использовать законы распределения случайной величины при оценке надежности;
- составлять структурные схемы надежности;
- прогнозировать надежность;
- повышать надежность систем при проектировании и при эксплуатации;
- организовывать испытания на надежность;
- обеспечивать конструктивные и технологические показатели надежности.

Владеть:

- методами экспериментального определения показателей надежности;
- методиками расчетов показателей надежности.

Иметь представление:

о системе управления надежностью.

Знания, полученные студентами, могут быть использованы при изучении дисциплины «Конструктивная и эксплуатационная надежность подвижного состава», при выполнении выпускной квалификационной работы и в дальнейшей профессиональной деятельности.

ВОПРОСЫ, ЗАДАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

На практических занятиях осуществляется контроль теоретических знаний студентов путем устного опроса и решения задач. Студент приобретает практические навыки оценки надежности. В середине и в конце семестра (10-е и 17-е занятия) проводятся контрольные работы, включающие в себя теоретические вопросы и задачи.

ЗАНЯТИЯ 1, 2

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ, ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

1. Что называется надежностью?
2. Что понимается под качеством изделий?
3. Что называется изделием?
4. Что называется элементом?
5. Что называется системой?
6. Какие изделия называются невосстанавливаемыми?
7. Какие изделия называются восстанавливаемыми?
8. Какие состояния изделия характеризуют его надежность?
9. Что называется работоспособным состоянием?
10. Что называется исправным состоянием?
11. Что называется предельным состоянием?
12. Какое событие характеризует надежность изделия?
13. Что называется отказом?
14. Что называется дефектом?
15. Что называется критерием отказа?
16. На какие виды делятся отказы в соответствии с характером их развития и проявления?
17. В чем заключаются постепенные отказы?
18. На какие виды делятся отказы по возможности дальнейшего использования изделия?
19. Что называется полным отказом изделия?
20. Что называется частичным отказом изделия?
21. На какие виды делятся отказы по времени их возникновения?
22. Что называется периодом нормальной эксплуатации?
23. Какие отказы называются самоустраняющимися?
24. На какие виды делятся отказы по причинам их возникновения?

25. Что является конструкционными причинами отказов?
26. Что является технологическими причинами отказов?
27. Что является эксплуатационными причинами отказов?
28. Какие причины отказов называются случайными?
29. Какие причины отказов называются систематическими?
30. Какие свойства изделий характеризуют их надежность?
31. Что называется безотказностью?
32. Что называется долговечностью?
33. Что называется ремонтпригодностью?
34. Что называется сохраняемостью?

Примеры решения задач и задания

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ЧАСТОТА И ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЯ

Задача 1. Определить вероятность отказа хотя бы одного из четырёх габаритных огней, если вероятность отказа каждого габаритного огня равна $P(A_1)=P(A_2)=P(A_3)=P(A_4)=0,001$. Здесь A_1, A_2, A_3, A_4 – отказ соответствующего габаритного огня. Предполагается, что отказы не зависимы друг от друга.

Дано:

$$P(A_1)=P(A_2)=P(A_3)=P(A_4)=0,001$$

Определить:

$$P(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) - ?$$

Решение 1. Воспользуемся теоремой сложения вероятностей.

$$\begin{aligned} P(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) = & P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + P(A_4) - P(A_1 \cdot A_2) - P(A_1 \cdot A_3) - P(A_1 \cdot A_4) - \\ & - P(A_2 \cdot A_3) - P(A_2 \cdot A_4) - P(A_3 \cdot A_4) + P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3) + P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_4) + P(A_1 \cdot A_3 \cdot A_4) + \\ & + P(A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) - P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4). \end{aligned}$$

В соответствии с теоремой умножения вероятностей и с учетом того, что все отказы равновероятны получаем:

$$P(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) = 4P(A_1) - 6P^2(A_1) + 4P^3(A_1) - P^4(A_1) = 0,004.$$

Решение 2. Найдем сначала вероятность того, что ни один габаритный огонь не откажет:

$$P(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4) = P^4(\bar{A}_1) = (1 - 0,001)^4 = 0,996006.$$

Здесь $\bar{A}_i$ – работоспособное состояние (отсутствие отказа) i -го габаритного огня.

Так как габаритный огонь может либо отказать, либо не отказать (третьего не дано), то

$$P(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) + P(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4) = 1.$$

Отсюда

$$P(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) = 1 - P(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4) = 1 - 0,997 = 0,003994.$$

Р е ш е н и е 3.

$$\begin{aligned} P(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) &= P(A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 + \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 + \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + \\ &+ \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + \\ &+ \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot A_4 + A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + \\ &+ A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot A_4 + \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 + A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) = \\ &= 4P(A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4) + 6P(A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4) + 4P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4) + P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) = \\ &= 4P(A_1) \cdot P^3(\bar{A}_1) + 6P^2(A_1) P^2(\bar{A}_1) + 4P^3(A_1) P(\bar{A}_1) + P^4(A_1) = \\ &= 4 \cdot 0,001 \cdot (1 - 0,001)^3 + 6 \cdot 0,001^2 \cdot (1 - 0,001)^2 + 4 \cdot 0,001^3 \cdot (1 - 0,001) + 0,001^4 = 0,003994. \end{aligned}$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Предварительно все значения в исходных данных увеличить на 0,001 для первого варианта, на 0,002 – для второго, на 0,003 – для третьего и т.д.

З а д а ч а 2 .

Определить вероятность отказа хотя бы двух из четырёх габаритных огней, если вероятность отказа каждого габаритного огня равна $P(A_1) = P(A_2) = P(A_3) = P(A_4) = 0,001$. Здесь A_1, A_2, A_3, A_4 – отказ соответствующего габаритного огня. Предполагается, что отказы не зависимы друг от друга.

Дано:

$$P(A_1) = P(A_2) = P(A_3) = P(A_4) = 0,001.$$

Определить:

$$P(A_1 \cdot A_2 + A_1 \cdot A_3 + A_1 \cdot A_4 + A_2 \cdot A_3 + A_2 \cdot A_4 + A_3 \cdot A_4) = ?$$

Р е ш е н и е .

$$\begin{aligned} P(A_1 \cdot A_2 + A_1 \cdot A_3 + A_1 \cdot A_4 + A_2 \cdot A_3 + A_2 \cdot A_4 + A_3 \cdot A_4) &= \\ &= P(O_2 + O_3 + O_4) = P(O_2) + P(O_3) + P(O_4), \end{aligned}$$

где $P(O_2), P(O_3), P(O_4)$ – вероятность того, что откажет ровно 2, 3, 4 габаритных огня соответственно.

$$\begin{aligned} P(O_2) &= P(A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 + A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + \\ &+ \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot A_4) = 6P(A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4) = \\ &= 6P^2(A_1) P^2(\bar{A}_1) = 6 \cdot 10^{-6}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(O_3) &= P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \bar{A}_4 + A_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot A_4 + \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) = \\ &= 4P^3(A_1) P(\bar{A}_1) = 4 \cdot 10^{-9}, \end{aligned}$$

$$P(O_4) = P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) = P^4(A_1) = 10^{-12},$$

$$P(A_1 \cdot A_2 + A_1 \cdot A_3 + A_1 \cdot A_4 + A_2 \cdot A_3 + A_2 \cdot A_4 + A_3 \cdot A_4) = 6,004 \cdot 10^{-6}.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Предварительно все значения в исходных данных увеличить на 0,001 для первого варианта, на 0,002 – для второго, на 0,003 – для третьего и т.д.

З а д а ч а 3 . Техническое устройство состоит из двух, не влияющих друг на друга элементов A_1 и A_2 . Элемент A_1 – основной, элемент A_2 – дублирующий. Определить вероятность отказа устройства, если вероятность отказа каждого из элементов равна 0,5.

Дано:

$$P(A_1) = P(A_2) = 0,5.$$

Определить: $P(A_1 \cdot A_2)$.

Р е ш е н и е :

$$P(A_1 \cdot A_2) = P(A_1) \cdot P(A_2) = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Предварительно все значения в исходных данных увеличить на 0,1 для первого варианта, на 0,2 – для второго, на 0,3 – для третьего и т.д.

З а д а ч а 4 . Производят диагностирование автомобиля в трех СТО. Вероятность правильного определения технического состояния автомобиля в первом–третьем СТО соответственно равна: $P_1=0,3$; $P_2=0,6$; $P_3=0,8$. Определить вероятность хотя бы одного правильного определения технического состояния автомобиля.

Дано:

$$P(A_1) = 0,3;$$

$$P(A_2) = 0,6;$$

$$P(A_3) = 0,8.$$

Определить: $P_{\text{п}}$.

Р е ш е н и е 1.

$$\begin{aligned} P_{\text{п}} &= P(A_1 + A_2 + A_3) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) - P(A_1 \cdot A_2) - P(A_1 \cdot A_3) - \\ &- P(A_2 \cdot A_3) + P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) - P(A_1)P(A_2) - \\ &- P(A_1)P(A_3) - P(A_2)P(A_3) + P(A_1)P(A_2)P(A_3) = 0,3 + 0,6 + 0,8 - \\ &- 0,3 \cdot 0,6 - 0,3 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 0,944. \end{aligned}$$

Р е ш е н и е 2.

$$P_{\text{п}} = 1 - P(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3) = 1 - P(\bar{A}_1) \cdot P(\bar{A}_2) \cdot P(\bar{A}_3) = 1 - (1 - 0,3) \cdot (1 - 0,6) \cdot (1 - 0,8) = 0,944.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Предварительно все значения в исходных данных увеличить на 0,01 для первого варианта, на 0,02 – для второго, на 0,03 – для третьего и т.д.

ЗАНЯТИЯ 3, 4

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 2. СЛУЧАЙНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ИХ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Если известна $P(X < x)$ – вероятность того, что наработка до отказа X меньше значения x , то по какой формуле определяется $Q(x)$ – вероятность возникновения отказа в течение наработки x ?
2. Как называют в теории надежности плотность распределения?
3. По какой формуле определяется $P^*(A)$ относительная частота появления события A , если известны m (число появлений события A) и N (общее число испытаний)?
4. Какое событие в теории вероятности называют суммой событий?
5. Какие события называются совместными?
6. Какое событие в теории вероятности называют *произведением событий*?
7. По какой формуле определяется вероятность суммы n событий $A_1, A_2, \dots, A_n$?
8. Какое событие A в теории вероятности называют *независимым* от события B ?
9. По какой формуле определяется вероятность произведения n независимых событий $A_1, A_2, \dots, A_n$?
10. Если случайной величиной является наработка до отказа, то функция распределения этой величины $F(x)$ равна...
11. Производная от функции распределения $F(x)$ по переменной x равна...
12. Площадь под кривой плотности распределения на заданном интервале значений случайной величины равна...

Примеры решения задач и задания

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ И ЧИСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ

Задача 5. Функция распределения непрерывной случайной величины X задана выражением:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0 \\ x^3 & \text{при } 0 < x \leq 1 \\ 1 & \text{при } x > 1 \end{cases}$$

Найти: плотность распределения $f(x)$.

Р е ш е н и е :

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0 \\ 3x^2 & \text{при } 0 < x \leq 1 \\ 0 & \text{при } x > 1 \end{cases}$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0, \\ x^3 + a & \text{при } 0 < x \leq 1, \\ 1 & \text{при } x > 1, \end{cases}$$

где $a=1$ – для первого варианта, $a=2$ – для второго, $a=3$ – для третьего и т.д.

З а д а ч а 6 . Плотность распределения случайной величины X описывается выражением

$$f(x) = \begin{cases} ax & \text{при } 0 \leq x \leq 1, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Найти: математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение случайной величины.

Р е ш е н и е :

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \Rightarrow \int_0^1 ax dx = 1 \Rightarrow \frac{a}{2} = 1 \Rightarrow a = 2.$$

Математическое ожидание:

$$M_x = \int_0^1 xf(x) dx = \int_0^1 2x^2 dx = \frac{2}{3}.$$

Дисперсия:

$$D_x = \int_0^1 (x - M_x)^2 f(x) dx = \int_0^1 \left(x - \frac{2}{3}\right)^2 2x dx = 2 \left[\frac{1}{4} - \frac{4}{9} + \frac{4}{18} \right] = \frac{1}{18}.$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} = 0,235.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что

$$f(x) = \begin{cases} ax & \text{при } 0 \leq x \leq 1+b, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $b=1$ – для первого варианта, $b=2$ – для второго, $b=3$ – для третьего и т.д.

Задача 7. Вычислить значение дисперсии D_x^* , если результаты измерения X следующие: 1,2; 1,5; 1,9; 2,4; 2,4; 2,5; 2,6; 3,0; 3,5; 3,8.

Решение:

$$D_x^* = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2,$$

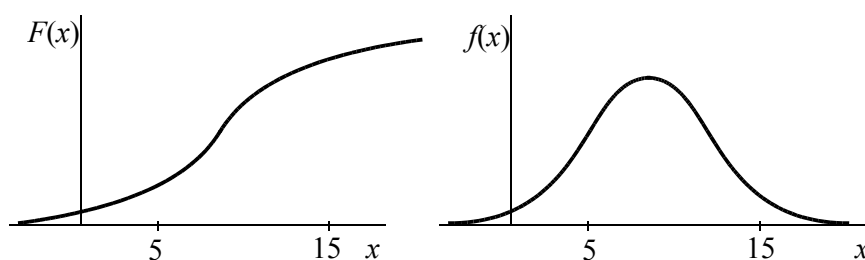
где $N=10$ – число испытаний;

$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ – среднее значение величины X ,

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (1,2 + 1,5 + 1,9 + 2,4 + 2,4 + 2,5 + 2,6 + 3,0 + 3,5 + 3,8) = 2,48.$$

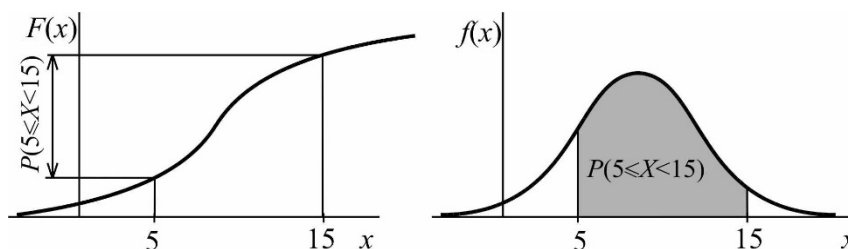
Задание. Решить приведенную выше задачу. Предварительно все значения в исходных данных увеличить на 0,1 – для первого варианта, на 0,2 – для второго, на 0,3 – для третьего и т.д.

Задача 8. Показать (отобразить) графически $P(5 \leq X < 15)$, если графики $f(x)$ и $F(x)$ имеют вид:



Решение: $P(5 \leq X < 15) = F(15) - F(5) = \int_5^{15} f(x) dx$. Графически это можно

изобразить следующим образом:



Задание. Решить приведенную выше задачу. Предварительно нижнюю и верхнюю границы диапазона в исходных данных увеличить на 1 – для первого варианта, на 2 – для второго, на 3 – для третьего и т.д.

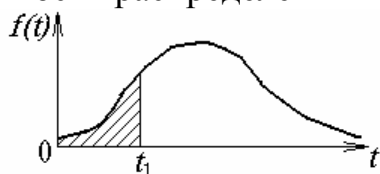
ЗАНЯТИЯ 5, 6

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ

1. В каком виде может быть представлен вероятностный закон распределения случайной величины T ?

2. Что собой представляет заштрихованная площадь под кривой плотности распределения наработки до отказа T ?



3. Какая случайная величина подчиняется биномиальному распределению?

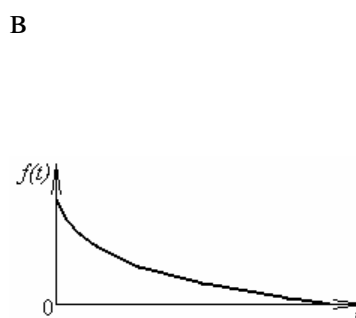
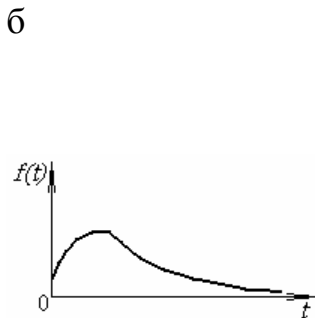
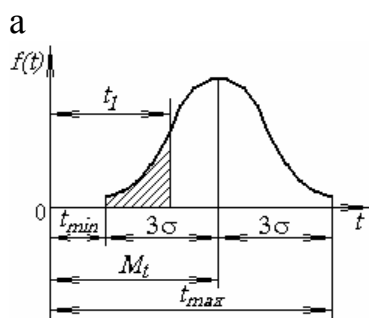
4. По какой формуле определяется вероятность отказа системы « m из n »?

5. По какой формуле определяется вероятность безотказной работы системы « m из n »?

6. По какой формуле определяется биномиальный коэффициент, называемый «числом сочетаний (комбинаций) по m из n »?

7. Для какого периода жизни изделия при расчете показателей надежности используется нормальное распределение случайной величины?

8. Какой график отображает плотность нормального распределения?



9. По какой формуле определяется плотность распределения величины T при ее нормальном распределении?

а)
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - M_t)^2}{2\sigma^2}\right];$$

б)
$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right];$$

$$\text{B) } f(t) = \frac{1}{st\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2s^2}\right].$$

10. По какой формуле определяется плотность распределения f величины T при ее нормальном распределении, если известно значение плотности распределения f_0 величины $X=(T-M_t)/\sigma$?

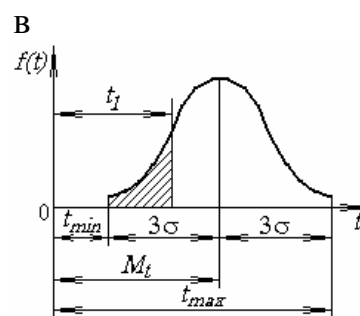
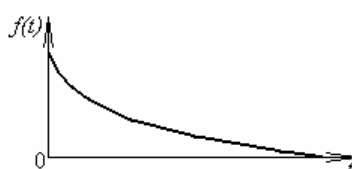
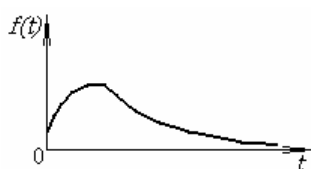
11. По какой формуле определяется функция распределения $F(t)$ величины T при ее нормальном распределении, если известно значение плотности распределения $f_0(x)$ величины $X=(T-M_T)/\sigma$?

12. Для какого периода жизни изделия при расчете показателей надежности используется логарифмически нормальное распределение?

13. Какой график отображает плотность логарифмически нормального распределения?

a

6

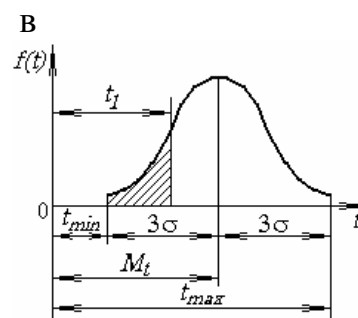
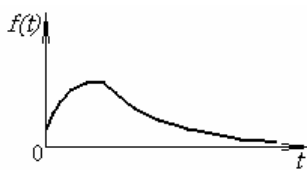
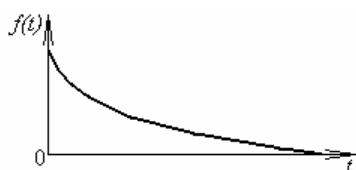


14. Для какого периода жизни изделия при расчете показателей надежности используется экспоненциальный закон распределения?

15. Какой график отображает плотность экспоненциального распределения?

a

6



16. Чем объясняется широкое применение закона Вейбулла?

Примеры решения задач и задания

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Задача 9. На испытания поставлено $N=200$ изделий. Результаты испытаний приведены в 1-4 столбцах таблицы (см. ниже). Для каждого временного интервала вычислить интенсивность отказов $\lambda(t)$. Построить график временной зависимости интенсивности отказов на интервале $[0;90[$.

Порядковый номер интервала i	Границы i -го интервала, ч	t_i , ч	$\Delta n(t_i)$	$N_p(t_i)$	$\lambda(t)$, ч ⁻¹
1	[0;10[	0	10		
2	[10;20[	10	8		
3	[20;30[	20	6		
4	[30;40[	30	4		
5	[40;50[	40	2		
6	[50;60[	50	2		
7	[60;70[	60	2		
8	[70;80[	70	4		
9	[80;90[	80	5		
10	[90;100[	90	8		
11	[100;110[	100	9		

Р е ш е н и е .

Требуемые параметры вычисляются по формулам:

$$N_p(t_i)=N, \text{ при } i=1;$$

где $N_p(t_i)$ – число работоспособных изделий в начале i -го интервала,

$$N_p(t_i)= N_p(t_{i-1})-\Delta n(t_{i-1}), \text{ при } i=2, 3, \dots, 10;$$

здесь $\Delta n(t_{i-1})$ – число отказов в $(i-1)$ -м интервале;

$$\lambda(t_i)=\Delta n(t_i)/(N_p(t_i)\Delta t),$$

где Δt – длина интервала.

Порядковый номер интервала i	Границы i -го интервала, ч	t_i , ч	$\Delta n(t_i)$	$N_p(t_i)$	$\lambda(t)$, ч ⁻¹
1	[0;10[	0	10	200	0,005
2	[10;20[	10	8	190	0,0042
3	[20;30[	20	6	182	0,0033
4	[30;40[	30	4	176	0,0023
5	[40;50[	40	2	172	0,0012
6	[50;60[	50	2	170	0,0012
7	[60;70[	60	2	168	0,0012
8	[70;80[	70	4	166	0,0024
9	[80;90[	80	5	162	0,0031
10	[90;100[	90	8	157	0,0051
11	[100;110[	100	9	149	0,006

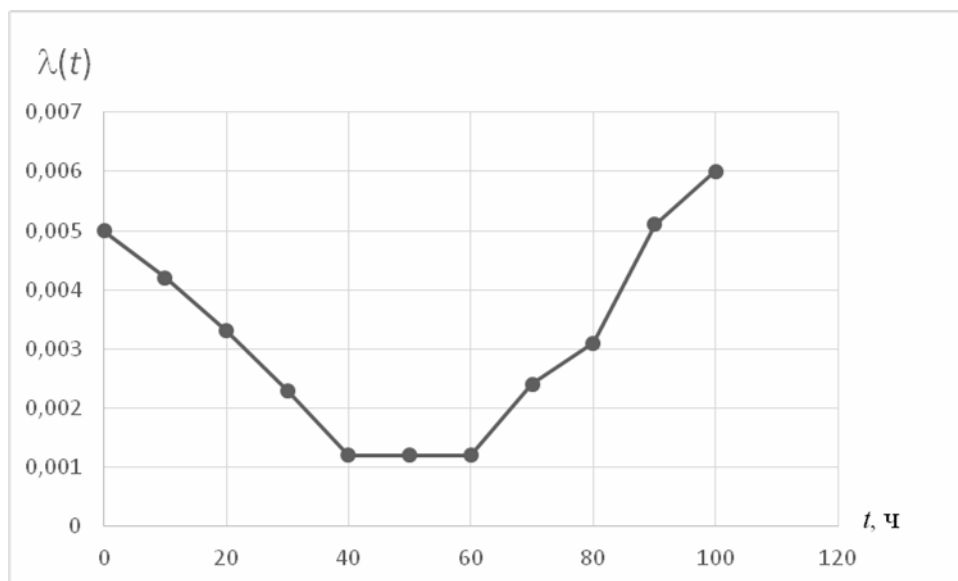


График временной зависимости интенсивности отказов

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что число отказов в каждом временном интервале больше на один отказ для первого варианта, на 2 – для второго, на 3 – для третьего.

З а д а ч а 10 . Определить коэффициент технического использования и коэффициент готовности машин, если известно, что машину эксплуатируют в течение года (8760 ч), на техническое обслуживание и ремонт тратится соответственно 480 и 20 ч.

Дано:

$$t_{\text{раб}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{ТО}} = 8760 \text{ ч}$$

$$t_{\text{рем}} = 20 \text{ ч}$$

$$t_{\text{ТО}} = 480 \text{ ч}$$

Определить: $K_{\text{т.и}}$, $K_{\text{г}}$.

Р е ш е н и е :

$$K_{\text{т.и}} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{ТО}}} = \frac{8760 - 20 - 480}{8760} = 0,943;$$

$$K_{\text{г}} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{рем}}} = \frac{8760 - 20 - 480}{8760 - 480} = 0,997.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что $t_{\text{рем}}$ и $t_{\text{ТО}}$ в исходных данных больше в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

З а д а ч а 11 . При эксплуатации изделий за год (8760 ч) было зафиксировано 5 отказов, на устранение каждого из которых затрачено в сред-

нем 20 ч. Техническое обслуживание в этот период проводилось в течение 240 ч. Определить коэффициенты готовности и технического использования.

Дано:

$$t_3 = 8760 \text{ ч}$$

$m = 5$ отказов

$$t_b = 20 \text{ ч}$$

$$t_{TO} = 240 \text{ ч}$$

Определить: $K_{г.}$, $K_{т.и.}$

Решение:

$$K_{г.} = \frac{t_3 - mt_b - t_{TO}}{t_3 - t_{TO}} = \frac{8760 - 5 \cdot 20 - 240}{8760 - 240} = 0,988;$$

$$K_{т.и.} = \frac{t_3 - mt_b - t_{TO}}{t_3} = \frac{8760 - 5 \cdot 20 - 240}{8760} = 0,961.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что t_b и t_{TO} в исходных данных больше в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

ЗАНЯТИЯ 7, 8

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 4. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

1. Для чего служат показатели надежности?
2. По каким признакам классифицируют показатели надежности?
3. На какие виды делятся показатели надежности по способу их получения?
4. Что называется эксплуатационными показателями надежности?
5. Что называется экспериментальными показателями надежности?
6. Что называется расчетными показателями надежности?
7. На какие виды делятся показатели надежности по области их использования?
8. Что называется нормативными показателями надежности?
9. Что называется оценочными показателями надежности?
10. На какие виды делятся показатели надежности по области их распространения?
11. Что называется индивидуальными показателями надежности?
12. Что называется групповыми показателями надежности?

13. На какие виды делятся показатели надежности по свойствам изделий, характеризующим их надежность?
14. Что оценивают с помощью единичных показателей надежности?
15. Что оценивают с помощью комплексных показателей надежности?
16. По какой формуле определяется статистическая оценка вероятности безотказной работы $P(t)$ в течение наработки t ?
17. По какой формуле определяется вероятность отказа $Q(t)$?
18. По какой формуле определяется плотность распределения наработки до отказа $f(t)$?
19. По какой формуле определяется интенсивность отказов?
20. Что называется средней наработкой до отказа T_{cp} ?
21. По какой формуле определяется средняя наработка до отказа T_{cp} в вероятностной трактовке?
22. По какой формуле определяется средняя наработка до отказа T_{cp} в статистической трактовке?
23. Что называется средней наработкой на отказ?
24. Что называется техническим ресурсом?
25. В каких единицах выражается ресурс?
26. По какой формуле определяется средний ресурс T_p ?
27. Что называется гамма-процентным ресурсом?
28. Что называется назначенным ресурсом?
29. Что называется установленным ресурсом?
30. Что называется сроком службы?
31. Что называется гарантийной наработкой?
32. Что называется сроком гарантии?
33. Укажите основные показатели сохраняемости.
34. Что называется сроком сохраняемости?
35. Что называется гамма-процентным сроком сохраняемости?
36. Что называется назначенным сроком хранения?
37. Что называется установленным сроком сохраняемости?
38. Что называется коэффициентом готовности K_r ?
39. По какой формуле определяется коэффициент технического использования $K_{т.и}$?
40. По какой формуле определяется коэффициент оперативной готовности $K_{о.г}$?

Примеры решения задач и задания

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Задача 12. Определить вероятность безотказной работы и интенсивность отказов подшипника скольжения для наработки $t_1=2 \cdot 10^4$ ч, если

ресурс по износу подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $M_t=4 \cdot 10^4$ ч, $\sigma=10^4$ ч.

Решение. Находим квантиль нормированного нормального распределения:

$$x=(t_1-M_t)/\sigma=(2 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^4)/10^4 = -2.$$

По таблице определяем, что $F_0(-2)=0,0228$. Отсюда

$$P(t_1)=1 - F_0(x)=1 - 0,0228 = 0,9772;$$

$$\lambda(t_1)=f(t_1)/P(t_1);$$

здесь $f(t_1)=f_0(x)/\sigma=0,054/10^4=5,4 \cdot 10^{-6}$.

Следовательно,

$$\lambda(t_1)=5,4 \cdot 10^{-6}/0,9772=5,5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}.$$

Задача. Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

Задача 13. Случайная величина T нормально распределена с математическим ожиданием $M_t=20$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma=2$. Определить вероятность того, что случайная величина T находится в диапазоне $19 \leq T < 22$.

Решение:

$$\begin{aligned} P(19 \leq T < 22) &= P(T < 22) - P(T < 19) = F(22) - F(19) = \\ &= F_0((22 - M_t)/\sigma) - F_0((19 - M_t)/\sigma) = F_0(1) - F_0(-0,5) = \\ &= F_0(1) - 1 + F_0(0,5) = 0,8413 - 1 + 0,6915 = 0,5328. \end{aligned}$$

Задача. Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего. Границы заданного диапазона $19 \leq T < 22$ оставить прежними.

Задача 14. Определить вероятность безотказной работы редуктора в течение $t=10^3$ ч, если ресурс распределен логарифмически нормально с параметрами $\mu=7,5$, $S=0,3$.

Решение:

$$x=(\ln t - \mu)/S=(\ln 10^3 - 7,5)/0,3 = -1,97,$$

$$P(t)=1 - F_0(-1,97) = F_0(1,97) = 0,976.$$

Задача. Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

Задача 15. Оценить вероятность $P(t)$ отсутствия внезапных отказов изделия в течение 10000 часов, если наработки до отказа 5 изделий являются следующими:

$$T_1=1,2 \cdot 10^8 \text{ ч}; T_2=1,0 \cdot 10^8 \text{ ч}; T_3=0,8 \cdot 10^8 \text{ ч}; T_4=1,1 \cdot 10^8 \text{ ч}; T_5=0,9 \cdot 10^8 \text{ ч}.$$

Наработка подчиняется экспоненциальному закону распределения.

Решение:

$$\lambda = 1/M_t,$$

$$\text{где } M_t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{5} = \frac{(1,2 + 1,0 + 0,8 + 1,1 + 0,9) \cdot 10^8}{5} = 10^8 \text{ ч}.$$

$$\lambda = 1/10^8 = 10^{-8} \text{ ч}.$$

$$P(t) = e^{-\lambda t} = \exp[-10^{-8} \cdot 10^4] = 0,9999.$$

Задача 16. Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

Задача 16. Оценить вероятность безотказной работы $P(t)$ роликоподшипников в течение $t=10^4$ ч, если их ресурс распределен по закону Вейбулла с параметрами $t_0=10^7$, $m=1,5$.

Решение:

$$P(t) = e^{-\frac{t^m}{t_0^m}} = e^{-\frac{(10^4)^{1,5}}{10^7}} = 0,905.$$

Задача 17. Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

Задача 17. Пусть проводятся испытания пяти элементов ($n=5$) до тех пор, пока не откажут все элементы; наработки до отказа t_1-t_5 равны соответственно 5; 10; 15; 20 и 25 ч. Нарabотка до отказа имеет распределение по экспоненциальному закону с плотностью вероятности $f(t, \lambda) = \lambda e^{-\lambda t}$, где λ – параметр распределения.

Найти: оценку параметра λ методом максимального правдоподобия.

Решение. Составим функцию правдоподобия и прологарифмируем ее:

$$L = f(t_1, \lambda) \cdot f(t_2, \lambda) \cdot f(t_3, \lambda) \cdot f(t_4, \lambda) \cdot f(t_5, \lambda) = \lambda^5 \exp(-\lambda \sum_{i=1}^5 t_i),$$

$$G = \ln L = 5 \ln \lambda - \lambda \sum_{i=1}^5 t_i.$$

Затем частную производную функции G по λ приравняем к нулю:

$$\frac{dG}{d\lambda} = \frac{5}{\lambda} - \sum_{i=1}^5 t_i = 0.$$

Решив это уравнение относительно параметра λ , получим его оценку:

$$\lambda = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 t_i}. \quad (*)$$

Из данной формулы следует, что

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

где $T_{\text{ср}}$ – среднее значение наработки до отказа.

Подставим значения наработок до отказа в формулу (*) для определения оценки параметра λ :

$$\lambda = \frac{5}{5 + 10 + 15 + 20 + 25} = 0,067 \text{ ч}^{-1}.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

ЗАНЯТИЯ 9, 10

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 5. ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

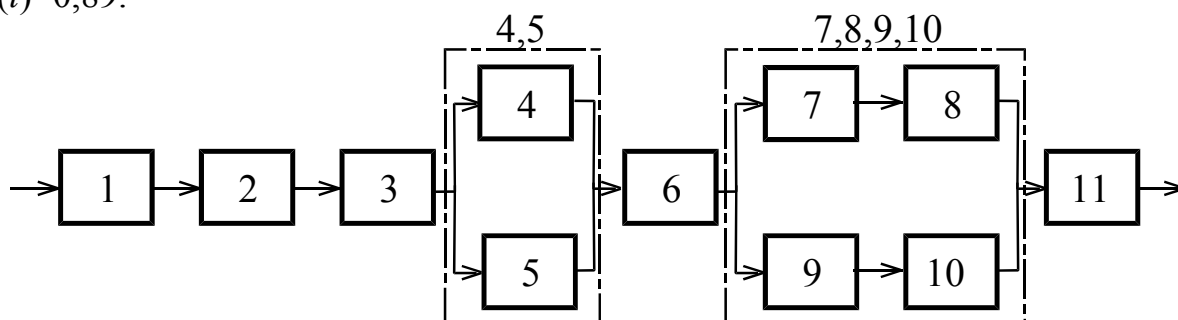
1. За счет чего достигается резкое сокращение числа испытаний при их научном планировании?
2. Что в кибернетике называется «черным ящиком»?
3. Какие параметры называют факторами?
4. Какие параметры называют откликами?
5. Что делается для исключения влияния неуправляемых факторов?
6. Какие требования предъявляют к исследуемым факторам?
7. Какие испытания называют определительными?
8. Для чего предназначены приработочные испытания?
9. Каким испытаниям подвергают каждую сложную техническую систему?
10. Каков общий объем приемосдаточных испытаний?

11. Для чего проводятся периодические испытания?
12. Каков объем периодических испытаний?
13. Сколько изделий подвергают периодическим испытаниям?
14. Сколько изделий подвергают гарантийным испытаниям?
15. Каков объем гарантийных испытаний?
16. Что называется доверительной вероятностью (достоверностью)?
17. Что называется односторонней доверительной вероятностью (достоверностью)?
18. Какие существуют способы сокращения объема контрольных испытаний на надежность?
19. В каком случае объем контрольных испытаний на надежность можно сократить за счет форсирования режима?
20. Как известно, для подтверждения того, что $\text{Вер}(P_n \leq P) = \alpha$, где P – вероятность безотказной работы изделия, P_n – нижняя граница доверительного интервала, необходимо испытать $n = \frac{\lg(1 - \alpha)}{\lg P}$ изделий. При каком условии эта формула верна?

Примеры решения задач и задания

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПО СТРУКТУРНЫМ СХЕМАМ НАДЕЖНОСТИ

Задача 18. Рассчитать вероятность безотказной работы $P(t)$ системы, состоящей из независимых элементов. Структурная схема системы показана на рисунке. $P_1(t)=0,9$; $P_2(t)=0,95$; $P_3(t)=0,98$; $P_4(t)=0,81$; $P_5(t)=0,8$; $P_6(t)=0,97$; $P_7(t)=0,92$; $P_8(t)=0,93$; $P_9(t)=0,92$; $P_{10}(t)=0,93$; $P_{11}(t)=0,89$.



Решение:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot P_{4,5}(t) \cdot P_6(t) \cdot P_{7,8,9,10}(t) \cdot P_{11}(t),$$

где $P_{4,5}(t)$ – вероятность безотказной работы хотя бы одного элемента – 4-го или 5-го.

$$P_{4,5}(t) = P_4(t) + P_5(t) - P_4(t) P_5(t).$$

Аналогично

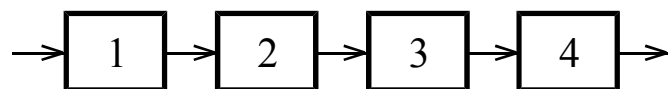
$$P_{7,8,9,10}(t) = P_7(t)P_8(t) + P_9(t)P_{10}(t) - P_7(t)P_8(t)P_9(t)P_{10}(t).$$

$$P(t)=0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot (0,81+0,8-0,81 \cdot 0,8) \cdot 0,97 \cdot (0,92 \cdot 0,93+0,92 \cdot 0,93- \\ -0,92 \cdot 0,93 \cdot 0,92 \cdot 0,93) \cdot 0,89=0,681.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что в заданной структурной схеме надежности отсутствует: 1-й элемент – для первого варианта, 4-й элемент – для второго, 7-й элемент – для третьего.

З а д а ч а 19. Интенсивность отказов шин автомобиля вследствие прокола равна $\lambda=10^{-3}$ км⁻¹. Определить вероятность $P(300)$ 300-километрового пробега при отсутствии запасной шины и вероятность $P_{\text{зап}}(300)$ при ее наличии.

Р е ш е н и е . При отсутствии запасного колеса структурная схема надежности системы колес выглядит следующим образом:



$$P(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t)P_4(t) = (e^{-\lambda t})^4,$$

где $P_1(t) = P_2(t) = P_3(t) = P_4(t) = e^{-\lambda t}$.

$$P(t) = (e^{-10^{-3} \cdot 300})^4 = 0,3.$$

При наличии запасного колеса вероятность безотказной работы определяется как вероятность того, что хотя бы четыре колеса из пяти останутся целыми (система колес представляет в этом случае систему типа «4 из 5»).

$$P(t) = \sum_{k=4}^5 C_5^k \cdot P_1^k \cdot (1 - P_1)^{5-k} = 5P_1^4(1 - P_1) + P_1^5 = 5P_1^4 - 4P_1^5 = 5e^{-4\lambda t} - 4e^{-5\lambda t} = 0,613.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что значение λ в исходных данных больше: в 1,1 раза для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

З а д а ч а 20. Система связи спроектирована таким образом, что при имеющихся пяти каналах связь обеспечивается при исправном состоянии любых двух каналов. Надежность передачи по всем каналам одинакова и обеспечивается с вероятностью безотказной работы $P_1 = P_2 = \dots = P_5 = 0,9$. Вычислить вероятность безотказной работы системы связи P_c .

Р е ш е н и е . Так как система связи представляет собой систему типа «2 из 5», то вероятность безотказной работы этой системы равна:

$$P_c = 1 - Q = 1 - \sum_{k=0}^{m-1} C_n^k P_1^k (1 - P_1)^{n-k},$$

где P_1 – вероятность безотказной работы одного элемента (канала);

m – число исправных элементов, при котором обеспечивается работоспособность системы;

$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ – число сочетаний из n элементов по k .

$$P = 1 - \sum_{k=0}^1 C_5^k P_1^k (1 - P_1)^{5-k} = 1 - [C_5^0 (1 - P_1)^5 + C_5^1 P_1 (1 - P_1)^4] = \\ = 1 - (0,1^5 + 5 \cdot 0,9 \cdot 0,1^4) = 0,99954.$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения вероятности безотказной работы $P_1, \dots, P_5$ в исходных данных меньше: на 0,1 – для первого варианта, на 0,2 – для второго, на 0,3 – для третьего.

З а д а ч а 21. Нерезервированная система управления состоит из $n = 5000$ элементов. Для повышения надежности системы предполагается провести общее дублирование 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 экспоненциальном законе распределения наработки до отказа каждого элемента.

Р е ш е н и е . Вероятность безотказной работы системы при общем дублировании и равнонадежных элементах равна:

$$P_c(t) = 1 - [1 - P^n(t)]^2,$$

где $P(t) = e^{-\lambda t}$ – вероятность безотказной работы одного элемента.

Так как должно быть

$$1 - [1 - P^n(t)]^2 \geq 0,9,$$

то

$$P^n(t) \leq 1 - \sqrt{1 - 0,9} \rightarrow P^n(t) \leq 0,6838.$$

Учитывая, что $P(t) = e^{-\lambda t}$, получим:

$$e^{-n\lambda t} \leq 0,6838 \rightarrow \lambda \leq -\frac{\ln 0,6838}{nt} \rightarrow \lambda \leq 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что значения вероятности безотказной работы $P_c(t)$ в исходных данных меньше: на 0,1 – для первого варианта, на 0,2 – для второго, на 0,3 – для третьего.

З а д а ч а 22. Устройство обработки состоит из трех одинаковых блоков. Вероятность безотказной работы устройства $P_y(t_1)$ в течение времени t_1 должна быть не менее 0,9. Определить, какова должна быть вероятность безотказной работы каждого блока в течение t_1 для случаев: а) резерв отсутствует ($P(t_1)$); б) имеется общее нагруженное резервирование всего устройства в целом ($P_{\text{общ}}(t_1)$), т.е. кратность резервирования $m = 1/1$;

в) имеется раздельное нагруженное резервирование каждого элемента ($P_{\text{разд}}(t_1)$), т.е. кратность резервирования $m=3/3$.

а) Резерв отсутствует

$$P_y(t_1) = P^3(t_1) \rightarrow P(t_1) = \sqrt[3]{P_y(t_1)}.$$

Т.к. $P_y(t_1) \geq 0,9$, то $P(t_1) \geq 0,9655$.

б) Имеется общее нагруженное резервирование всего устройства в целом

$$P_y(t_1) = 1 - (1 - P_{\text{общ}}^3(t_1))^2 \rightarrow P_{\text{общ}}(t_1) = \sqrt[3]{1 - \sqrt{1 - P_y(t_1)}}.$$

Т.к. $P_y(t_1) \geq 0,9$, то $P_{\text{общ}}(t_1) \geq 0,8810$.

в) Имеется раздельное нагруженное резервирование каждого элемента

$$P_y(t_1) = (1 - (1 - P_{\text{разд}}(t_1))^2)^3 \rightarrow P_{\text{разд}}(t_1) = 1 - \sqrt[3]{1 - \sqrt{P_y(t_1)}}.$$

Т.к. $P_y(t_1) \geq 0,9$, то $P_{\text{общ}}(t_1) \geq 0,8142$.

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что значение вероятности безотказной работы $P_y(t_1)$ в исходных данных меньше: на 0,1 – для первого варианта, на 0,2 – для второго, на 0,3 – для третьего.

ЗАНЯТИЯ 11, 12

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 6. СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Какие способы существуют для описания надежности технической системы?

2. Что изображает прямоугольник на структурной схеме надежности системы?

3. Что отображает структурная схема надежности системы?

4. Что является основным достоинством структурной схемы надежности как способа описания надежности технической системы?

5. Что является основным недостатком структурной схемы надежности как способа описания надежности технической системы?

6. Если x_i — исправное состояние i -го элемента, $\bar{x}_i$ — отказовое состояние, то какой вид будет иметь функция алгебры логики $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ для последовательной системы?

7. Каждая строка матрицы состояний представляет собой вектор, компонентами которого ...

8. Функционирование системы может быть описано графом состояний системы, узлам которого приписываются, а ветвям – ...

9. Если оценивать функционирование системы до некоторого j -го состояния, например до первого ее отказа, то j -е состояние считается

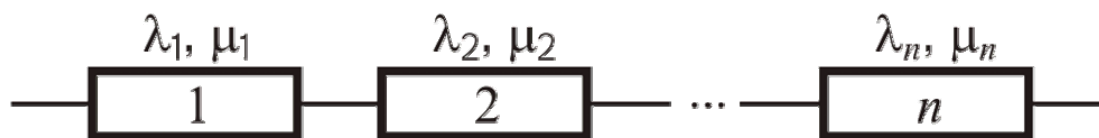
10. Система, попавшая в поглощающее состояние, уже не может перейти в другое, и в графе отсутствуют ветви переходов...

11. Вид графа зависит от структуры системы (схемы расчета надежности), числа обслуживающих бригад и дисциплины обслуживания. Обычно узлы графа нумеруются и отмечаются (например, крестом) те, которые соответствуют отказовым состояниям системы. На графе также указываются все интенсивности переходов.

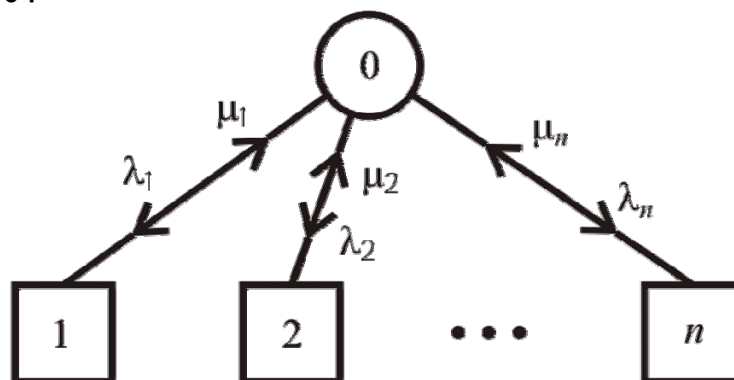
Примеры решения задач и задания

СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

З а д а ч а 23. Начертите граф состояний нерезервированной восстанавливаемой системы, если структурная схема надежности этой системы имеет следующий вид:



Здесь λ и μ – интенсивность отказов и интенсивность восстановления
Р е ш е н и е .



Граф состояний нерезервированной восстанавливаемой системы

Здесь (0) – состояние, когда оба устройства исправны;

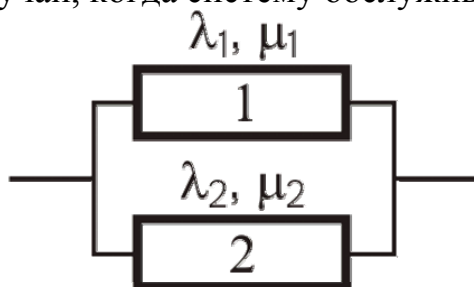
(1) – отказовое состояние системы, когда первое устройство отказало и находится в ремонте;

(2) – отказовое состояние системы, когда второе устройство отказало и находится в ремонте;

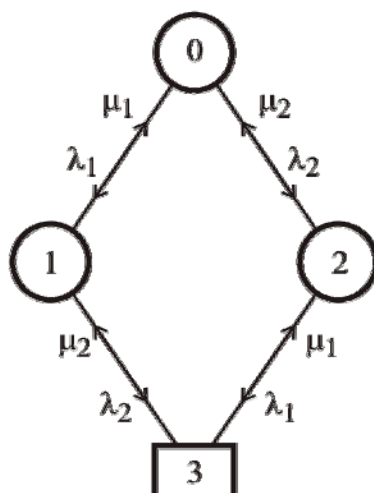
(n) – отказовое состояние системы, когда n -е устройство отказало и находится в ремонте

Задание. Решить приведенную выше задачу. Принять, что система состоит: из двух элементов – для первого варианта, из трех – для второго, из четырех – для третьего.

Задача 24. Представить в виде графа состояний надежность дублированной системы, структурная схема надежности которой приведена на рисунке. Рассмотреть случай, когда систему обслуживают две бригады.



Решение



Здесь (0) – состояние, когда оба устройства исправны;

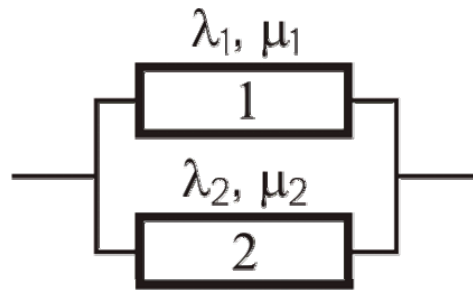
(1) – состояние, когда первое устройство отказало и находится в ремонте, а второе исправно;

(2) – состояние, когда второе устройство отказало и находится в ремонте, а первое исправно;

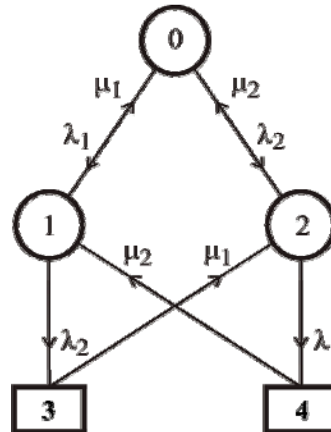
(3) – отказовое состояние системы, когда оба устройства неисправны; при этом ремонтируются и первое, и второе устройства.

Задание. Решить приведенную выше задачу. Принять, что систему обслуживают: три бригады – для первого варианта, четыре бригады – для второго, пять бригад – для третьего.

Задача 25. Необходимо описать графом надежность дублированной системы, схема надежности которой приведена на рисунке. Рассмотреть случай, когда обслуживание осуществляется одной бригадой с прямым приоритетом.



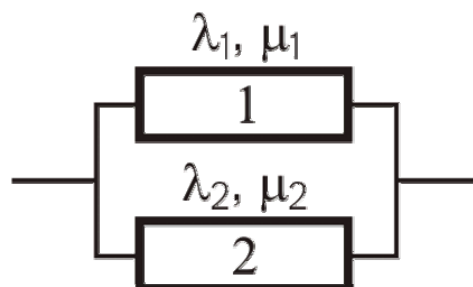
Решение



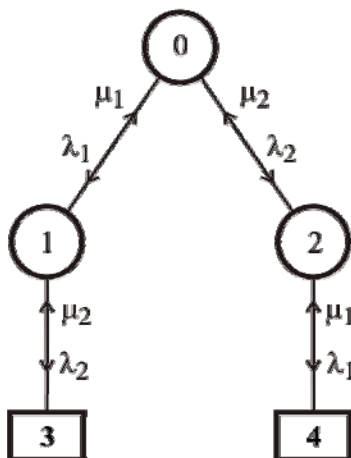
- Здесь (0) – состояние, когда оба устройства исправны;
 (1) – состояние, когда первое устройство отказало и находится в ремонте, а второе исправно;
 (2) – состояние, когда второе устройство отказало и находится в ремонте, а первое исправно;
 (3) – отказовое состояние системы, когда оба устройства неисправны; при этом ремонтируется первое, а второе находится в очереди на ремонт;
 (4) – отказовое состояние, когда оба устройства неисправны, при этом ремонтируется второе устройство, а первое находится в очереди на ремонт.

Задание. Решить приведенную выше задачу. Принять, что систему обслуживают: две бригады – для первого варианта, три бригады – для второго, четыре бригады – для третьего.

Задача 26. Необходимо описать графом надежность дублированной системы, схема надежности которой приведена на рисунке. Рассмотреть случай, когда обслуживание осуществляется одной бригадой с обратным приоритетом.



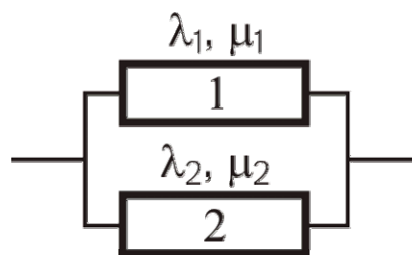
Решение



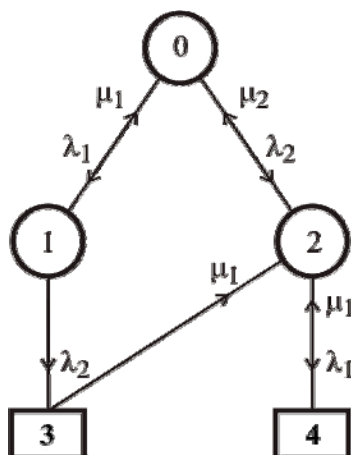
- Здесь (0) – состояние, когда оба устройства исправны;
 (1) – состояние, когда первое устройство отказало и находится в ремонте, а второе исправно;
 (2) – состояние, когда второе устройство отказало и находится в ремонте, а первое исправно;
 (3) – отказовое состояние системы, когда оба устройства неисправны; при этом ремонтируется второе, а первое находится в очереди;
 (4) – отказовое состояние, когда оба устройства неисправны, при этом ремонтируется первое, а второе находится в очереди.

Задача. Решить приведенную выше задачу. Принять, что систему обслуживают: две бригады – для первого варианта, три бригады – для второго, четыре бригады – для третьего.

Задача 27. Необходимо описать графом надежность дублированной системы, схема надежности которой приведена на рисунке. Рассмотреть случай, когда обслуживание осуществляется одной бригадой, причем первый элемент имеет высший приоритет по сравнению со вторым.



Решение



Здесь (0) – состояние, когда оба устройства исправны;

(1) – состояние, когда первое устройство отказало и находится в ремонте, а второе исправно;

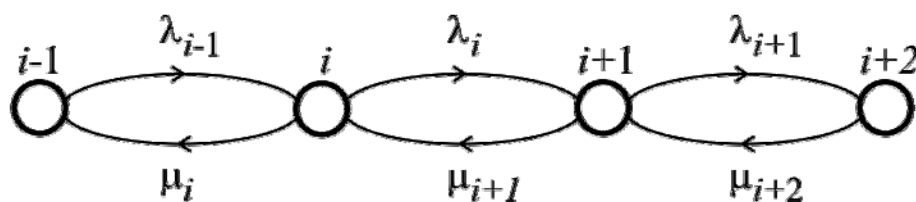
(2) – состояние, когда второе устройство отказало и находится в ремонте, а первое исправно;

(3) – отказовое состояние системы, когда оба устройства неисправны; при этом ремонтируется первое, а второе находится в очереди на ремонт;

(4) – отказовое состояние, когда оба устройства неисправны, при этом ремонтируется первое, а второе находится в очереди.

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Принять, что систему обслуживают: две бригады – для первого варианта, три бригады – для второго, четыре бригады – для третьего.

З а д а ч а 28. Какой вид будет иметь дифференциальное уравнение типа массового обслуживания для вероятности $p_i(t)$ пребывания системы в i -м состоянии в момент времени t , если граф состояний системы показан на рисунке?



Р е ш е н и е

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \lambda_{i-1}p_{i-1}(t) - (\lambda_i + \mu_i)p_i(t) + \mu_{i+1}p_{i+1}(t).$$

З а д а н и е . Решить приведенную выше задачу. Записать дифференциальное уравнение типа массового обслуживания для вероятности: $p_{i-1}(t)$ – для первого варианта; $p_{i+1}(t)$ – для второго; $p_{i+2}(t)$ – для третьего.

ЗАНЯТИЯ 13, 14

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 7. АНАЛИЗ ВИДОВ, ПОСЛЕДСТВИЙ И КРИТИЧНОСТИ ОТКАЗОВ

1. Анализ видов и последствий отказов (АВПО) заключается в выделении, в прослеживании....., обуславливающих их возникновение, и возможных/наблюдаемых послед-

ствий....., а также в качественной оценке и ранжировании отказов по

2. Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) – процедура АВПО, дополненная ...?

3. Одна из задач, решаемая при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов: выявление возможных видов, изучение причины, механизмов и условий

4. Одна из задач, решаемая при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов: определение возможных неблагоприятных последствий, проведение качественного анализа тяжести и/или количественной оценки

5. Одна из задач, решаемая при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов: составление и периодическая коррекция перечня ...

6. Одна из задач, решаемая при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов: оценка достаточности предусмотренных средств и методов ...

7. Одна из задач, решаемая при проведении анализа видов, последствий и критичности отказов: анализ правил поведения персонала в аварийных ситуациях, обусловленных возможными ...

8. Какие факторы должны учитываться при категорировании отказов по тяжести их последствий?

9. Критичность отказов при анализе видов, последствий и критичности отказов оценивают с использованием показателей, учитывающих...

10. В общем случае показатель критичности отказа представляет собой произведение ...

11. Для определения возможного ущерба от наступления определенных последствий каждого отказа в АВПКО применяют: ...

12. Балльные оценки возможного ущерба от отказов применяют для объектов, ...

13. В перечни критичных элементов включают: ...

14. В перечень критичных техпроцессов включают технологические процессы, ...

Примеры решения задач и задания

Контроль надежности систем по результатам испытаний

Задача 29. Определить нижнюю границу доверительного интервала при доверительной вероятности $\alpha=0,7$, если при испытании десяти изделий ни одно не отказало.

Решение. Для подтверждения того, что $\text{Вер}(P_n \leq P) = \alpha$, необходимо испытать $n = \frac{\lg(1-\alpha)}{\lg P_n}$ изделий при условии, что отказов при испытании не возникнет.

Отсюда

$$P_n = 10^{\frac{\lg(1-\alpha)}{n}} = \sqrt[n]{1-\alpha} = \sqrt[10]{1-0,7} = 0,887.$$

Задание. Решить приведенную выше задачу. Принять, что доверительная вероятность α в исходных данных больше: в 1,1 раза – для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, на в 1,3 раза – для третьего.

Задача 30. Проводится оценка надежности по отсутствию отказов. Какое число n изделий необходимо оценить для подтверждения с доверительной вероятностью $\alpha=0,9$ того, что вероятность безотказной работы выше 0,95.

Решение:

$$n = \frac{\lg(1-\alpha)}{\lg P_n} = \frac{\lg(1-0,9)}{\lg 0,95} = 45.$$

Задание. Решить приведенную выше задачу. Принять, что доверительная вероятность α в исходных данных больше: в 1,1 раза – для первого варианта, в 1,2 раза – для второго, в 1,3 раза – для третьего.

ЗАНЯТИЯ 15, 16

Вопросы, выносимые на практические занятия

ТЕМА 8 РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

1. Что должна устанавливать программа обеспечения надежности?
2. Для каких основных целей выполняется расчет надежности объекта?
3. Что в себя включает расчет надежности?
4. Что в себя включает идентификация объекта для расчета его надежности?
5. Какие источники используются при получении информации для идентификации объекта?
6. По каким признакам классифицируют методы расчета надежности?
7. Какие методы расчета различают по составу рассчитываемых показателей?

8. Какие методы расчета различают по основным принципам расчета свойств, составляющих надежность, или комплексных показателей надежности объектов?

9. На чем основаны методы прогнозирования уровня надежности объекта?

10. На чем основаны структурные методы расчета надежности?

11. На чем основаны физические методы расчета надежности?

12. Для каких объектов структурные методы являются основными методами расчета показателей надежности?

13. Что применяется в качестве структурных схем надежности?

14. Что называется отказоустойчивостью?

15. В каком случае система типа « m из n » сохраняет свою работоспособность?

16. Для чего предназначена структурная схема надежности?

17. Какова структурная схема надежности системы « m из n »?

18. В каком случае последовательная система сохраняет свою работоспособность?

19. Приведите пример последовательной системы.

20. Какова структурная схема надежности последовательной системы?

21. По какой формуле определяется вероятность безотказной работы последовательной системы?

22. В каком случае параллельная система сохраняет свою работоспособность?

23. Приведите пример параллельной системы.

24. Какова структурная схема надежности параллельной системы?

25. По какой формуле определяется вероятность безотказной работы параллельной системы?

26. Какие структурные схемы надежности обычно применяют для описания безотказности невосстанавливаемых объектов вида I?

27. В каком случае для невосстанавливаемой системы применяют ее структурное отображение в виде графа переходов и его математическое описание с помощью марковского процесса?

28. Для расчета надежности каких объектов служит метод статистического моделирования?

29. Что включает в себя метод статистического моделирования?

30. Для каких структур применяют марковские модели для описания соответствующих графов (диаграмм) состояний?

ЗАНЯТИЯ 17, 18

Вопросы, выносимые на практические занятия

Тема 9. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ

1. Современные методы прогнозирования надежности
2. Методы экспертных оценок – это метод, сущность которых сводится к ...
3. Методы моделирования базируются на ...
4. В основе метода экстраполяции лежат закономерности...
5. Что является основными причинами неточного прогнозирования надежности?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ширшиков, А.С. Оценка надежности технических систем: учебное пособие/ А.С. Ширшиков, В.В. Лянденбургский, А.М. Белоковильский. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 246 с.
2. Половко, А.М. Основы теории надежности: учебное пособие/ А.М. Половко, С. В. Гуров.– СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
3. Половко, А.М. Основы теории надежности: Практикум/ А.М. Половко, С. В. Гуров.– СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВОПРОСЫ, ЗАДАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	5
ЗАНЯТИЯ 1, 2.....	5
ЗАНЯТИЯ 3, 4.....	9
ЗАНЯТИЯ 5, 6.....	12
ЗАНЯТИЯ 7, 8.....	16
ЗАНЯТИЯ 9, 10.....	20
ЗАНЯТИЯ 11, 12.....	24
ЗАНЯТИЯ 13, 14.....	29
ЗАНЯТИЯ 15, 16.....	31
ЗАНЯТИЯ 17, 18.....	33
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	34

Учебное издание

Ширшиков Андрей Станиславович

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Методические указания к практическим занятиям
по направлению подготовки 23.03.01
«Технология транспортных процессов»

Р е д а к т о р	М.А. Сухова
В е р с т к а	Н.А. Сазонова

Подписано в печать 26.05.16. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 2,09. Уч.-изд.л. 2,25. Тираж 80 экз.
Заказ № 364.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.