

РОСЖЕЛДОР

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

В.А. Соломин, Л.Л. Замшина

**СБОРНИК ЗАДАЧ
«НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ»**

Учебно-методическое пособие
для практических работ

Ростов-на-Дону
2015

УДК 621.313(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С.Д. Мрыхин

Соломин, В.А.

Сборник задач «Надежность электрических машин и аппаратов»: учебно-методическое пособие для практических работ / В.А. Соломин, Л.Л. Замшина; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2015. – 28 с.: ил. – Библиогр.: с. 21.

Содержатся задачи по основным разделам курса «Надежность электрических машин» и «Надежность электрических аппаратов». В приложениях приводится справочный материал, необходимый для решения задач.

Предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электромеханика».

Одобрено к изданию кафедрой «Электрические машины и аппараты».

Тема № 1. Введение в курс надежности электрических машин и аппаратов

1. Определить среднюю наработку до первого отказа электротехнического устройства при интенсивности отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$

2. Определить вероятность безотказной работы электротехнического устройства для промежутка времени $t = 1000 \text{ ч}$ при интенсивности отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$

3. Определить вероятность отказа работы электротехнического устройства для промежутка времени $t = 3000 \text{ ч}$ при интенсивности отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$

4. Определить вероятность безотказной работы электротехнического устройства для промежутка времени $t = 8000 \text{ ч}$ при интенсивности отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$

5. Оценить вероятность $P(t)$ отсутствия внезапных отказов механизма в течение $t = 10\,000 \text{ ч}$, если интенсивность отказов составляет $\lambda = 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

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

7. На складе имеется 15 реле, причем 10 из них изготовлены на заводе. Найти вероятность того, что среди пяти взятых наудачу реле окажутся три реле, изготовленные на заводе.

8. В ящике пять одинаковых трансформаторов тока, причем три из них окрашены. Наудачу извлечены два трансформатора тока. Найти вероятность того, что среди двух извлеченных трансформаторов тока окажутся: а) один окрашенный трансформатор; б) два окрашенных трансформатора.

9. Для сигнализации об аварии установлены два независимо работающих сигнализатора. Вероятность того, что при аварии сигнализатор срабатывает, равна 0,95 для первого сигнализатора и 0,9 для второго. Найти вероятность того, что при аварии срабатывает только один сигнализатор.

10. Отдел технического контроля проверяет электротехническое изделие на стандартность. Вероятность того, что электротехническое изделие

стандартно, равна 0,9. Найти вероятность того, что из двух проверенных электротехнических изделий только одно стандартное.

11. Вероятность того, что при одном измерении некоторой физической величины будет допущена ошибка, превышающая заданную точность, равна 0,4. Произведены три независимых измерения. Найти вероятность того, что только в одном из них допущенная ошибка превысит заданную точность.

12. Устройство состоит из трех элементов, работающих независимо. Вероятности безотказной работы (за время t) первого, второго и третьего элементов соответственно равны 0,6; 0,7; 0,8. Найти вероятность того, что за время t безотказно будут работать: а) только один элемент; б) только два элемента; в) все три элемента.

13. В ящике 10 асинхронных микродвигателей, среди которых 6 окрашенных. Сборщик наудачу извлекает 4 микродвигателя. Найти вероятность того, что все извлеченные микродвигатели окажутся окрашенными.

14. В электрическую цепь последовательно включены три элемента, работающие независимо один от другого. Вероятности отказов первого, второго и третьего элементов соответственно равны: $Q_1 = 0,1$; $Q_2 = 0,15$; $Q_3 = 0,15$. Найти вероятность того, что тока в цепи не будет.

15. В электрическую цепь последовательно включены три реле, работающие независимо один от другого. Вероятности отказов первого, второго и третьего реле соответственно равны: $Q_1 = 0,1$; $Q_2 = 0,15$; $Q_3 = 0,15$. Найти вероятность того, что ток в цепи будет.

16. В электрическую цепь параллельно включены три реле, работающие независимо один от другого. Вероятности отказов первого, второго и третьего реле соответственно равны: $Q_1 = 0,1$; $Q_2 = 0,15$; $Q_3 = 0,15$. Найти вероятность того, что тока в цепи не будет.

17. В электрическую цепь параллельно включены три элемента, работающие независимо один от другого. Вероятности отказов первого, второго и третьего элементов соответственно равны: $Q_1 = 0,1$; $Q_2 = 0,15$; $Q_3 = 0,15$. Найти вероятность того, что ток в цепи будет.

18. Три исследователя, независимо один от другого, производят измерения некоторого параметра электрической машины. Вероятность того, что первый исследователь допустит ошибку при считывании показаний прибора, равна 0,1. Для второго и третьего исследователей эта вероятность соответственно равна 0,15 и 0,2. Найти вероятность того, что при однократном измерении хотя бы один из исследователей допустит ошибку.

19. Чему равна вероятность безотказной работы и вероятность отказа устройства к моменту времени t , равному средней наработке до первого отказа T_c ?

Тема № 2. Законы распределения отказов электрических машин и аппаратов

1. Произвести приближенную оценку вероятности безотказной работы и средней наработки до первого отказа однофазного асинхронного двигателя малой мощности типа АОЛБ-32-2 для двух промежутков времени его работы: $t = 1000$ и 3000 ч - по средней статистической величине интенсивности отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, полагая, что время нормальной эксплуатации больше 3000 ч.

2. Средняя наработка двигателя до первого отказа $T_{cp} = 6 \cdot 10^4$ ч. Определить вероятность безотказной работы, или надежность двигателя, к концу периода нормальной эксплуатации $T_n = 50\,000$ ч.

3. Имеется батарея аккумуляторов. Время безотказной работы батареи подчиняется закону Гаусса с параметрами $m_x = 30$ ч и $\sigma_x = 4$ ч. Какова вероятность безотказной работы батареи в течение 35 ч?

4. Распределение отказов объекта подчиняется нормальному закону с параметрами $T_{cp} = 10\,000$ ч и $\sigma_x = 2000$ ч. Какова вероятность безотказной работы к моменту времени $T = 14\,000$ ч?

5. Средняя наработка до первого отказа для щетки $T = 10\,000$ ч при среднеквадратическом отклонении $\sigma_t = 3000$ ч. Определить вероятность безотказной работы отдельной щетки к моменту времени $t = 10\,000$ ч, а также вероятность безотказной работы щеточного аппарата $P_{ша}$ ($10\,000$), состоящего из четырех щеток, считая, что отказ любой щетки приводит к отказу всего щеточного аппарата.

6. Время работы электрического аппарата подчинено нормальному закону с параметрами $T_{cp} = 8000$ ч и $\sigma_t = 2000$ ч. Требуется вычислить количественные характеристики надежности электрического аппарата: $P(t)$; $\lambda(t)$; $f(t)$; T_{cp} для $t = 10000$ ч.

7. Распределение отказов объекта подчиняется нормальному закону с параметрами $T_{cp} = 12\,000$ ч и $\sigma_x = 3000$ ч. Какова вероятность того, что объект откажет на интервале времени от $14\,000$ до $15\,000$ ч?

8. Оценить вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение $t = 3 \cdot 10^4$ ч изнашиваемого подвижного сопряжения, если отказы подчиняются нормальному распределению с параметрами $T_{cp} = 40\,000$ ч и $\sigma_x = 10\,000$ ч.

9. В ящике 100 деталей, из них 10 бракованных. Наудачу извлечены четыре детали. Найти вероятность того, что среди извлеченных деталей: а) нет бракованных; б) нет годных.

10. Частота отказов во времени электрической машины на шарикоподшипниках приближенно подчиняется распределению Вейбулла с параметрами $k_0 = 1,5$ и $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы машины и интенсивность ее отказов для трех промежутков времени работы $t = 500, 1000$ и 2000 ч, а также вычислить среднюю наработку до первого отказа.

11. Частота отказов электротехнического изделия во времени приближенно подчиняется распределению Вейбулла с параметрами $k_0 = 2$ и $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность отказа изделия и интенсивность его отказов для момента времени работы $t = 1000$ ч, а также вычислить среднюю наработку до первого отказа.

12. Частота отказов электротехнического изделия во времени приближенно подчиняется распределению Вейбулла с параметрами $k_0 = 2$ и $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Определить частоту отказов этого изделия для момента времени работы $t = 1000$ ч.

13. Время работы электрического аппарата подчиняется закону распределения Рэлея. Требуется вычислить количественные характеристики надежности электрического аппарата: $P(t)$; $\lambda(t)$; $T_{\text{ср}}$ для $t = 1000$ ч, если параметр распределения $\sigma_t = 1000$ ч.

14. Из большой партии сельсинов типа НС-404, содержащей $P\% = 5\%$ неисправных образцов, берется для использования в объекте выборка из четырех машин. Определить вероятность того, что все сельсины исправны.

15. Из большой партии трехфазных асинхронных двигателей малой мощности типа АОЛ-12-4, содержащей 2 % неисправных машин, берется для контроля выборка из пяти двигателей. Оценить вероятность появления в выборках 0, 1, 2, 3, 4 или 5 неисправных машин.

16. Известно, что средняя статистическая величина интенсивности отказов партии асинхронных двигателей $\lambda = 20 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Определить, сколько останется исправно работающих машин к моменту времени 5000 ч, если объем партии $N = 100$ двигателей.

17. Время работы электротехнического устройства до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

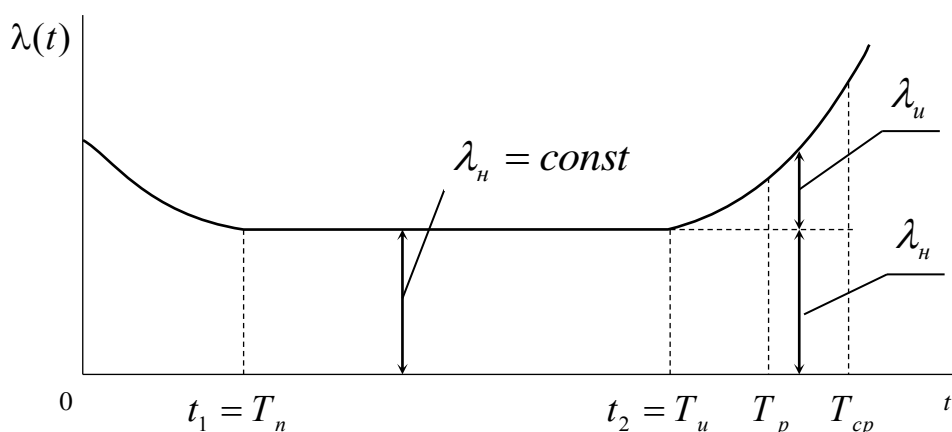
Требуется вычислить количественные характеристики надежности электротехнического устройства: $P(t)$; $Q(t)$; T_{cp} для $t = 1000$ ч.

18. Электрическая прочность изоляторов электроустановки аппроксимирована распределением Гаусса с параметром центра $U_n = 30$ кВ и параметром рассеяния $\sigma_n = 2,6$ кВ. Коммутационные перенапряжения также распределены по закону Гаусса с параметром центра $U_n = 20$ кВ и параметром рассеяния $\sigma_n = 5$ кВ. Определить коэффициент запаса прочности и вероятность отказа (пробоя изоляции электроустановки коммутационными перенапряжениями).

19. Среднее время исправной работы выключателя равно 1260 ч. Время исправной работы подчинено закону Рэля. Необходимо найти его количественные характеристики $P(t)$; $\lambda(t)$; $f(t)$ для $t = 1000$ ч.

Тема № 3 Периоды работы электрических машин и аппаратов. Доверительные границы

1. Определить вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа трехфазного асинхронного двигателя малой мощности типа АОЛ-22-2 к концу периода его нормальной эксплуатации $t = T_{cp} = 6000$ ч (см. рисунок), если средняя интенсивность отказов в долях единицы на один час $\lambda = 15 \cdot 10^{-6}$ ч⁻¹. Вычислить также: вероятность безотказной работы этого двигателя; интенсивность отказов и среднюю наработку до первого отказа в период износа для трех промежутков времени его работы $t = 8000$, 10 000 и 12 000 ч, считая от начала периода нормальной эксплуатации, если средняя долговечность, или ресурс, $T_p = 12 000$ ч и среднеквадратическое отклонение времени между отказами в нормальном законе $\sigma = 2000$ ч.



Периоды работы технического изделия:

$0 < t < t_1$ - приработка; $t_1 < t < t_2$ - нормальная эксплуатация; $t > t_2$ -

2. Известно, что для момента времени $t = 10 000$ ч вероятность безотказной работы отдельных элементов электрической машины следующая:

подшипниковый узел $P_{п}$ (10 000 ч) = 0,9; обмотка якоря $P_{я}$ (10 000 ч) = 0,95; обмотка возбуждения $P_{в}$ (10 000 ч) = 0,99; коллекторно-щеточный узел $P_{к}$ (10000 ч) = 0,92. Определить вероятность безотказной работы машины в целом при $t = 10\ 000$ ч и $t = 8\ 000$ ч.

3. Определить надежность машины постоянного тока типа ПН-100 для трех промежутков времени её работы $t = 1000, 3000, 5000$ ч по следующим средним статистическим данным об интенсивности отказов основных ее частей: магнитная система с обмоткой возбуждения $\lambda_1 \approx 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$; обмотка якоря $\lambda_2 \approx 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$; подшипники скольжения $\lambda_3 \approx 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$; коллектор $\lambda_4 \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$; щеточное устройство $\lambda_5 \approx 1 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

4. При испытании на надежность выборки сельсинов получены следующие наработки до отказа в часах: $t_1 = 100; t_2 = 120; t_3 = 180; t_4 = 200; t_5 = 250; T_6 = 300; t_7 = 350; t_8 = 400; t_9 = 500; t_{10} = 600$; число отказов равно 10, браковочное число $R = 10$. Определить среднее время безотказной работы сельсинов, приемочное число, а также нижнюю и верхнюю доверительные границы оценки среднего времени при доверительной вероятности или коэффициенте доверия $\alpha = 0,95$.

5. При испытании на надежность $n = 16$ однотипных асинхронных двигателей до выхода из строя получены следующие наработки в часах: 400, 600, 900, 1100, 1200, 1500, 1600, 1700, 1900, 2000, 2100, 2300, 2500, 2700, 3000, 3500.

Определить среднюю долговечность машин, нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала с вероятностью 0,9.

6. При испытании на надежность синхронных двигателей до выхода из строя получены следующие наработки в часах: 1000, 1200, 1500, 1600, 1700, 1900, 2000, 2100, 2300, 2500, 2700, 3000. Определить:

- 1) среднюю долговечность;
- 2) стандартное отклонение и стандартную ошибку;
- 3) нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала с вероятностью 0,95;
- 4) уровень значимости.

7. При испытании на надежность $n = 11$ однотипных асинхронных двигателей до выхода из строя получены следующие наработки в часах: 300, 400, 600, 700, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000.

Определить:

- 1) интенсивность отказов двигателей λ ;
- 2) нижнюю и верхнюю доверительные границы $\lambda_{н}$ и $\lambda_{в}$ с доверительными вероятностями $\alpha_1 = 0,95, \alpha = 0,9$ соответственно;
- 3) среднюю наработку до отказа $\bar{T}_{ср}$ и ее нижнюю границу с вероятностью 0,9.

8. При испытании на надежность $n = 11$ однотипных асинхронных двигателей до выхода их из строя получены следующие наработки в часах: $t_1=300$; $t_2=400$; $t_3 = 600$; $t_4 = 700$; $t_5 = 1000$; $t_6 = 1500$; $t_7 = 2000$; $t_8 = 2500$; $t_9 = 3000$; $t_{10} = 3500$; $t_{11} = 4000$. Определить оценку интенсивности отказов двигателей $\bar{\lambda}$; нижнюю и верхнюю доверительные границы $\lambda_{\text{н}}$ и $\lambda_{\text{в}}$ с доверительными вероятностями соответственно $\alpha_1 = 0,95$; и $\alpha_2 = 0,90$; оценку средней наработки до отказа $\bar{T}_{\text{ср}}$ и ее нижнюю границу с вероятностью 0,90.

9. Определить вероятность отказа щеточно-коллекторного узла машины постоянного тока, если известно, что вероятность распайки петушков 0,05, вероятность пробоя изоляции 0,1, вероятность выхода из строя щеток 0,15, вероятность выхода из строя элементов крепления 0,01. Остальными видами отказов пренебречь.

10. Известны интенсивности отказов отдельных узлов электрической машины: магнитная система $\lambda_1 = 0,01 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, обмотка якоря $\lambda_3 = 0,05 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, подшипниковые узлы $\lambda_2 = 0,3 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, обмотка возбуждения $\lambda_4 = 0,01 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Определить среднюю наработку до первого отказа, вероятность безотказной работы, вероятность отказа для времени ее работы $t = 10\ 000$ ч.

Тема № 4 Структурная надежность и резервирование

1. Устройство содержит два независимо работающих элемента. Вероятности отказа элементов равны 0,05 и 0,08 соответственно. Найти вероятности отказа устройства, если для этого достаточно, чтобы отказал хотя бы один элемент.

2. В энергосистеме при повышении тока нагрузки на 20 % выключатель разрывает цепь. Вероятность того, что выключатель работает правильно, составляет $P_{\text{в}} = 0,90$. Как изменится вероятность размыкания цепи, если последовательно с основным поставить еще один такой же выключатель?

3. Определить среднюю наработку до первого отказа системы с последовательной структурной надежностью, состоящей из четырех элементов, имеющих следующие наработки до первого отказа: $T_1 = 10$ лет, $T_2 = 11$ лет, $T_3 = 9$ лет, $T_4 = 12$ лет соответственно.

4. Определить среднюю наработку до первого отказа системы, имеющей параллельную структурную надежность и состоящую из четырех элементов, у которых наработки до первого отказа соответственно равны: $T_1 = 10$ лет, $T_2 = 11$ лет, $T_3 = 9$ лет, $T_4 = 12$ лет.

5. Определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из трех равнонадежных элементов, имеющих последовательную структурную надежность ($P_i = 0,9$).

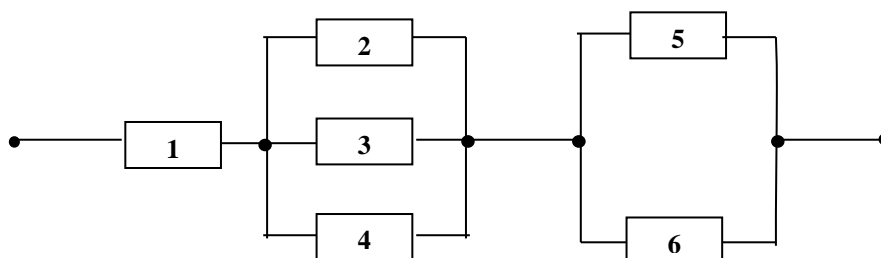
6. Определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из трех равнонадежных элементов, имеющих параллельную структурную надежность ($P_i = 0,9$).

7. Определить коэффициент готовности системы, состоящей из двух элементов, имеющих коэффициенты готовности $K_{г1} = 0,9$ и $K_{г2} = 0,8$ соответственно, если известно, что при выходе из строя любого из них откажет вся система.

8. Рассчитать и построить график зависимости вероятности безотказной работы системы от надежности элементов, если известно, что система состоит из трех равнонадежных элементов, имеющих последовательную структурную надежность.

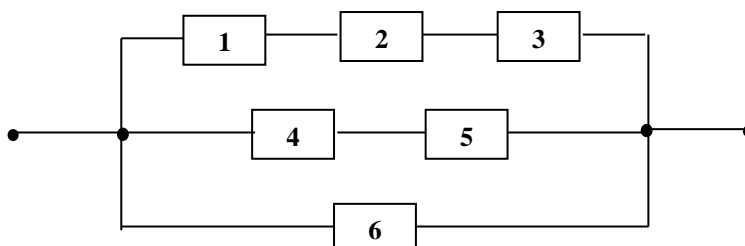
9. Рассчитать и построить график зависимости вероятности безотказной работы системы от надежности элементов, если известно, что система состоит из трех равнонадежных элементов, имеющих параллельную структурную надежность.

10. На рисунке представлена структурная схема надежности системы.



Известны интенсивности отказов отдельных элементов: $\lambda_1 = 1 \cdot 10^{-4}$ 1/ч, $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 3 \cdot 10^{-3}$ 1/ч, $\lambda_5 = \lambda_6 = 2 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы системы для момента времени $t = 3000$ ч с начала работы.

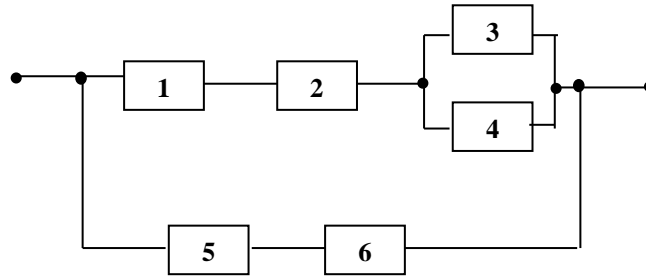
11. Структурная схема надежности системы представлена на рисунке.



Известны интенсивности отказов отдельных ее элементов:

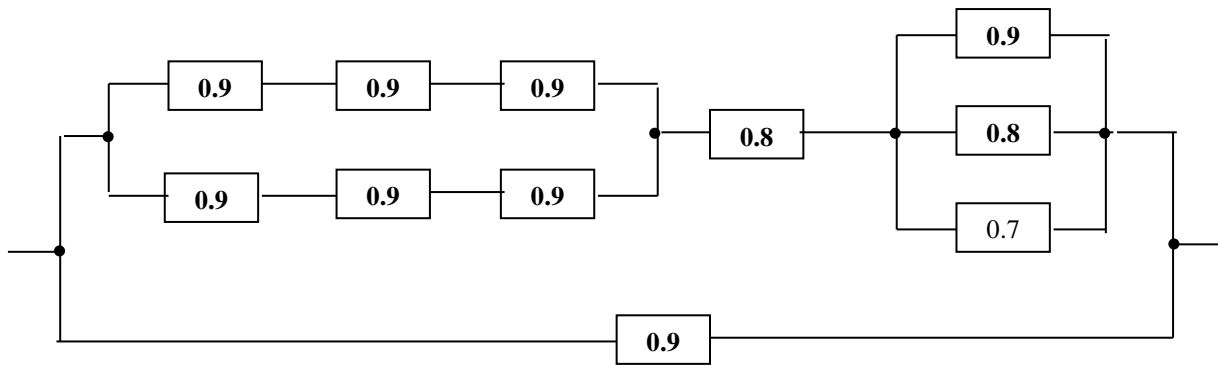
$\lambda_1 = \lambda_4 = \lambda_6 = 1 \cdot 10^{-3}$ 1/ч, $\lambda_2 = \lambda_5 = 2 \cdot 10^{-3}$ 1/ч, $\lambda_3 = 3 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы системы для момента времени $t = 5000$ ч с начала работы.

12. На рисунке представлена структурная схема надежности системы.



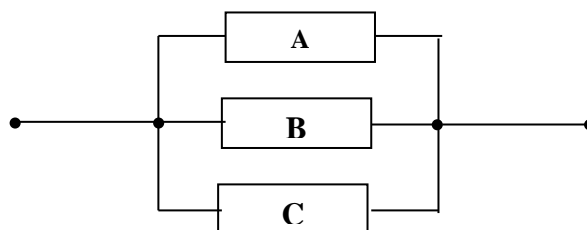
Известны интенсивности отказов отдельных ее элементов: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_5 = \lambda_6 = 2 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, $\lambda_3 = \lambda_4 = 4 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы системы для момента времени $t = 5000$ ч с начала работы.

13. На рисунке представлена структурная схема блока пускорегулирующей аппаратуры, указаны вероятности безотказной работы входящих в нее элементов. Найти вероятность безотказной работы всей системы в целом.



14. Составить структурную схему надежности системы двух выключателей при их работе: а) на замыкание цепи; б) на размыкание цепи.

15. На рисунке представлена структурная схема надежности изделия. Однако система остается работоспособной, если работоспособны на менее двух её элементов. Вероятность отказа одного из элементов равна 0,2.

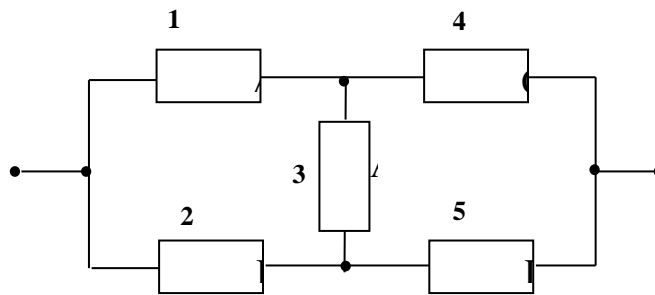


Определить вероятность безотказной работы всей системы.

16. Два конденсатора включены последовательно. При коротком замыкании одного из конденсаторов схема остается работоспособной. Вероятность отказа одного конденсатора равна 0,3. Определить вероятность безотказной работы схемы.

17. Дана система, состоящая из $N = 100$ элементов, имеющих последовательную структурную схему соединения. Интенсивность отказов системы $\lambda = 1 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. С помощью резервирования требуется обеспечить надежность системы $P(t) \geq 0,95$ в течение $t = 1000$ ч. При какой системе резервирования затраты будут меньше ?

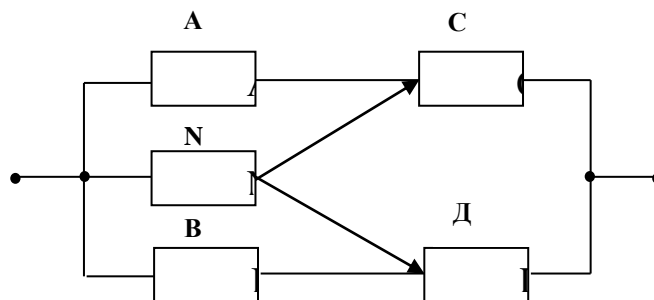
18. Дана структурная схема взаимодействия элементов (рисунок).



Определить вероятность безотказной работы системы, если известно, что $P_1 = P_2 = P_3 = 0,9$; $P_4 = P_5 = 0,8$.

19. Силовой модуль инвертора системы управления электроприводом имеет интенсивность отказов $\lambda = 4 \cdot 10^{-8}$ 1/ч. В инверторе восемь силовых модулей, соединенных параллельно, причем нормальная работа инвертора обеспечивается, когда исправны не менее семи модулей. Определить вероятность безотказной работы инвертора при $T = 4\ 000$ ч.

20. На рисунке представлена структурная схема надежности системы, причем отказ элемента N нарушает пути ND и NC и приводит к отказу системы.



Определить структурную надежность системы, если вероятность отказа элементов $Q_i = 0,1$.

5 Надежность различных типов электрических машин и аппаратов

1. На испытания ставятся 80 машин и испытываются в течение 1000 ч. За это время произошло 8 отказов. Рассчитать характеристики надежности испытуемых машин к моменту времени $t_1 = 1000$ ч и $t_2 = 1200$ ч, принимая, что время нормальной эксплуатации больше 1200 ч.

2. Проводятся ресурсные испытания. Установлено 400 машин. Через 3000ч работы отказали 200 машин. Испытания продолжались, и через 100 ч отказали еще 100 машин. Определить: вероятности безотказной работы $P(3000)$, $P(3100)$, $P(3050)$; вероятности отказа $Q(3000)$, $Q(3100)$; интенсивность отказов $\lambda(3050)$, частоту отказов $a(3050)$.

3. За время эксплуатации суммарное время исправной работы машины составило 10 000 ч, суммарное время вынужденных простоев 1000 ч. Определить коэффициент готовности машины.

4. Коэффициент готовности рассматриваемого типа двигателей $K_r = 0,98$. Среднее время восстановления работоспособности двигателей после отказа $T_B = 12$ ч. Определить наработку двигателя на отказ t_{cp} .

5. Статистические данные об эксплуатации однотипных двигателей постоянного тока представлены в таблице.

Число обслуживаний S	2	6	6	10	8	4	2
Длительность каждой операции по обслуживанию, ч	2	3	5	4	1	6	10

Определить среднее время восстановления работоспособности одного двигателя T_B , интенсивность его восстановления μ и ремонтпригодность двигателя $P_B(t)$, если допустимое значение времени по обслуживанию $t = 2$ ч.

6. Для партии асинхронных двигателей по истечении времени после начала работы $T = 500$ ч средняя интенсивность отказов $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹, интенсивность восстановления работоспособности после отказа $\mu = 0,5$ ч⁻¹. Определить наработку на отказ t_{cp} , коэффициент готовности K_r , вероятность безотказной работы и вероятность отказа для указанного момента времени, если допустимое время по обслуживанию двигателя $t = 1$ ч.

7. Сбор статистических данных показал, что за время $T = 1000$ ч после начала работы средняя интенсивность отказов партии электрических машин составила $\lambda_{cp} = 5 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, интенсивность восстановления работоспособности после отказа $\mu = 0,5$ ч⁻¹. Определить наработку на отказ t_{cp} , коэффициент

готовности K_T и вероятность безотказной работы для момента $T = 1000$ ч, если допустимое время по обслуживанию электрической машины $t = 2$ ч.

8. В таблице представлены статистические данные об эксплуатации партии электрических машин.

Число обслуживаний S	1	2	3	4	10	8
Длительность каждого обслуживания Δt_i , ч	10	8	4	2	1	3

Определить:

- 1) среднее время восстановления работоспособности машины T_B ;
- 2) интенсивность восстановления μ ;
- 3) ремонтпригодность двигателя $P_B(t)$ при допустимом времени обслуживания двигателя $t = 4$ ч;
- 4) коэффициент готовности в момент времени $T = 1000$ ч, если интенсивность отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

9. Для расчета надежности электрощетки, применяемой для данного типа машины, проведены испытания 10 электрощеток. При этом получены следующие данные об отказах испытуемых электрощеток:

Номер щетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка до отказа, ч	800	900	940	950	1000	1100	1210	1500	2000	2500

Определить:

- 1) среднюю наработку до первого отказа T_{cp} ;
- 2) вероятность безотказной работы и вероятность отказа электрощетки для двух моментов времени $t_1 = 1000$ ч и $t_2 = 2000$ ч.

10. Определить объем выборки для проведения испытаний на надежность, если известно, что ожидаемое среднее время безотказной работы $T_{cp} = 5 \cdot 10^4$ ч, а время проведения испытаний $t_r = 2000$ ч, при этом запланированное число отказов $r = 4$. Определить также вероятность отказа и вероятность безотказной работы к моменту $t = 2000$ ч.

11. Определить объем выборки для проведения испытаний на надежность, если ожидаемая интенсивность отказов $\lambda = 0,3 \cdot 10^{-4}$ 1/ч, а время проведения испытаний $t_r = 4000$ ч, при этом запланированное число отказов $r = 5$. Определить также вероятность отказа и вероятность безотказной работы к моменту $t = 4000$ ч.

12. Определить объем выборки для проведения испытаний аппаратов на надежность, если время испытаний $t = 1000$ ч, предполагаемая интенсивность отказов $\lambda = 40 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, при этом запланированное число отказов $r = 4$. Определить также вероятность отказа и вероятность безотказной работы к моменту $t = 1000$ ч.

13. Статистические данные о выходе из строя электрических аппаратов представлены в таблице.

Интервал времени, ч	0 – 500	500 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2000	2000 – 2500
Количество отказов на интервале $n(\Delta t)$	25	20	15	15	15

Число машин, подвергавшихся наблюдениям, $N_0 = 100$. Определить характеристики надежности машины, построить их зависимости от времени.

14. При испытании на надежность 100 аппаратов получены следующие результаты:

Интервал времени Δt_i , ч	0 – 400	400 – 800	800 – 1200	1200 – 1600	1600 – 2000
Число отказов на интервале $n_i(\Delta t_i)$	6	5	4	3	2

Рассчитать и построить характеристики надежности данного типа двигателей. Оценить наработку до первого отказа T_{cp} .

15. При испытании на надежность 60 контакторов получены следующие результаты в отдельные интервалы времени:

Интервал времени Δt_i , ч	0 – 1000	1000 – 2000	2000 – 3000	3000 – 4000	4000 – 5000
Число отказов на интервале $n_i(\Delta t_i)$	5	4	3	3	3

Определить:

- 1) среднее значение интенсивности отказов и наибольшее её отклонение;
- 2) вероятность безотказной работы преобразователя из опыта и сравнить с расчетным значением для момента $t = 5000$ ч;
- 3) среднюю наработку до отказа;
- 4) вероятность отказа при $t = 3000$ ч.

16. При испытании на надежность 50 двигателей постоянного тока получены следующие результаты в отдельные интервалы времени:

Интервал времени Δt_i , ч	0 – 200	200 – 400	400 – 600	600 – 800	800 – 1000
Число отказов на интервале $n_i (\Delta t_i)$	4	4	4	4	4

Определить:

- 1) среднее значение интенсивности отказов и наибольшее её отклонение;
- 2) вероятность безотказной работы двигателей из опыта и сравнить с расчетным значением для момента $t = 1000$ ч;
- 3) среднюю наработку до отказа и ее нижнюю границу с доверительной вероятностью $\alpha = 0,9$.

17. В процессе испытания на надежность партии машин малой мощности по программе ускоренных испытаний при коэффициенте ускорения $k = 2$ получены следующие данные о выходе из строя испытуемых машин. Нарботки отдельных машин в часах составили: 400, 500, 600, 700, 900, 1000, 1500, 1600, 1800, 2000, 2100.

Определить:

- 1) среднюю наработку до отказа $\overline{T_{cp}}$ и ее нижнюю границу с доверительной вероятностью $\alpha = 0,9$;
- 2) интенсивность отказов двигателей $\overline{\lambda}$;
- 3) нижнюю и верхнюю доверительные границы λ_n и λ_b с доверительной вероятностью $\alpha = 0,9$;
- 4) вероятность безотказной работы для времени $t = 400$ ч для данного типа машины.

18. Для проведения ускоренных испытаний необходимо исследовать зависимости коэффициента ускорения от величины тока и амплитуды вибрации электрической машины. Составить план проведения экспериментальных исследований и показать методику обработки экспериментальных данных, если предполагается, что зависимость реализуется в виде уравнения $k = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$.

19. Закон распределения отказов подшипникового узла асинхронного двигателя - нормальный. Какова вероятность того, что подшипниковый узел будет работать от 10000 до 13000 ч, если математическое ожидание (средняя наработка на отказ) и среднеквадратическое отклонение соответственно: $T_{cp} = 10000$ ч, $\sigma_t = 1000$ ч.

20. Срок службы асинхронной машины составляет 10 лет. При этом ее наработка $T = 1000$ ч. Определить целесообразность повышения надежности, при которой интенсивность отказов снижается с $\lambda_1 = 22 \cdot 10^{-4}$ 1/ч до $\lambda_2 = 20 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. Известно, что средняя стоимость потерь при отказе $R = 12\ 000$ руб., а дополнительные капитальные затраты на повышение надежности составляют 58 400 руб.

21. До первого капитального ремонта асинхронной электрической машины проведены три плановых технических обслуживания со средней трудоемкостью по 100 чел.-ч каждое. Кроме того, на текущий ремонт данной машины по устранению ее отказов за этот же период затрачено 150 ч. Средняя стоимость одного планового технического обслуживания машины составляет 200 руб., а средняя стоимость одного часа работы по ее текущему ремонту (с учетом стоимости запасных частей) равна 4 руб. Средняя наработка рассматриваемой электрической машины за период до ее первого капитального ремонта составляет $T_{cp} = 6\ 000$ ч.

Определить:

- 1) среднюю и удельную трудоемкости технического обслуживания машины до первого капитального ремонта;
- 2) среднюю и удельную стоимости технического обслуживания до капитального ремонта.

22. Пусть вследствие обрыва одной из фаз асинхронного электродвигателя средние потери на аварию $R_o = 100$ руб., а среднее число аварий в год $m_o = 1$. Стоимость типовой защиты электродвигателя от обрыва фаз $C = 200$ руб., срок её службы $T_{сл} = 10$ лет, а интенсивность отказов $\lambda_3 = 0,2$ 1/год. Средняя стоимость восстановления отказавшей защиты $C_{в.з} = 50$ руб. В случае использования защиты средние потери на аварию составят $R_n = 30$ руб. Целесообразно ли использование защиты ?

23. Определить надежность обмотки с микалентной изоляцией статора турбогенератора Т2-12-2 по следующим данным: коэффициент запаса прочности изоляции стержня $k_0 = 4,5$; среднегодовая температура изоляции $\Theta = 60$ °С или 333 К; число пазов статора $z_1 = 48$; расчетное время эксплуатации 20 лет.

24. Определить вероятность безотказной работы бандажного кольца турбогенератора по следующим данным. Напряжение на внутренней поверхности бандажа от центробежных сил и посадок при номинальной скорости равно 420 Н/мм²; при испытательной скорости – 510 Н/мм² со среднеквадратическим отклонением $\sigma_1 = 30$ Н/мм²; допустимое напряжение для бандажа в исходном состоянии $S_2 = 835$ Н/мм² при $\sigma_s = 50$ Н/мм².

25. Отказы подшипникового узла синхронного генератора подчиняются закону распределению Вейбулла с параметрами $k = 2,6$ и $\lambda_0 = 1,65 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы подшипникового узла для времени $t = 150$ ч.

5.1 Построение гистограмм электрических машин и аппаратов

1. Построить гистограмму частот по данному распределению выборки объема $n = 100$ (таблица).

Номер интервала i	Частичный интервал $h = x_i - x_{i+1}$	Частота событий на интервале n_i	Плотность частоты n_i / h
1	1 – 5	10	2,5
2	5 – 9	20	5
3	9 – 13	50	12,5
4	13 – 17	12	3
5	17 – 21	8	2

2. Построить гистограмму частот по данному распределению выборки (таблица).

Номер интервала i	Частичный интервал $h = x_i - x_{i+1}$	Частота событий на интервале n_i	Плотность частоты n_i / h
1	2 – 7	5	
2	7 – 12	10	
3	12 – 17	25	
4	17 – 22	6	
5	22 – 27	4	

Примечание. Предварительно найти плотность частоты n_i / h для каждого интервала и заполнить последний столбец таблицы.

3. Построить гистограмму частот по данному распределению выборки (таблица).

Номер интервала i	Частичный интервал $h = x_i - x_{i+1}$	Частота событий на интервале n_i	Плотность частоты n_i / h
1	3 – 5	4	
2	5 – 7	6	
3	7 – 9	20	
4	9 – 11	40	
5	11 – 13	20	
6	13 – 15	4	

Примечание. Предварительно найти плотность частоты n_i / h для каждого интервала и заполнить последний столбец таблицы.

4. Построить гистограмму относительных частот по данному распределению выборки (таблица).

Номер интервала i	Частичный интервал $h = x_i - x_{i+1}$	Частота событий на интервале n_i
1	0 – 2	20
2	2 – 4	30
3	4 – 6	50
-	-	$n = \sum n_i = 100$

5. Построить гистограмму относительных частот по данному распределению выборки (таблица).

Номер интервала i	Частичный интервал $h = x_i - x_{i+1}$	Частота событий на интервале n_i
1	10 – 15	2
2	15 – 20	4
3	20 – 25	8
4	25 – 30	4
5	30 – 35	2
-	-	$n = \sum n_i = 20$

Примечание. Сначала следует найти относительные частоты n_i / h для каждого интервала.

6. Построить гистограмму относительных частот по данному распределению выборки (таблица).

Номер интервала i	Частичный интервал $h = x_i - x_{i+1}$	Частота событий на интервале n_i
1	2 – 5	6
2	5 – 8	10
3	8 – 11	4
4	11 – 14	5
-	-	$n = \sum n_i = 25$

Примечание. Сначала следует найти относительные частоты n_i / h для каждого интервала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Балдин, К.В.** Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: Учебник/ Балдин К.В., Башлыков В.Н., Рукосуев А.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Дашков и К, 2014.— 473 с.ЭБС IRP-books
- 2. Исмаилов, Ш.К.** Диагностирование изоляции тяговых электродвигателей локомотивов и обеспечение оптимального температурно-влажностного режима ее эксплуатации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Исмаилов Ш.К., Смирнов В.П., Худоногов А.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012.— 270 с. Консультант студента
- 3. Горелик, А.В.** Практикум по основам теории надежности : учеб. пособие/ А. В. Горелик, О. П. Ермакова; УМЦ по образованию на ж.-д. трансп.. -М., 2013. -132 с.: ил.
- 4. Замшина, Л.Л., Соломин В.А.** Надежность электрических машин и аппаратов. Учебное пособие. 2015 Электронный вид.
- 5. Щурская Т.В., Минаенко А.И, Петрушин А.Д.** Надёжность электрических машин и электромеханических систем.: Учеб. пособие. Ч.2.- Ростов н/Д: Рост. Гос. ун-т путей сообщения, 2004.- 84с.+ ЭР НТБ
- 6. Щурская Т.В., Минаенко.** Надёжность электрических машин и электромеханических систем.: Учеб. пособие. Ч.1.- Ростов н/Д: Рост. Гос. ун-т путей сообщения,.2002.-56.с. +ЭР НТБ

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Значения экспоненты

X	e^{-x}	X	e^{-x}
0	1	0,57	0,56552544
0,01	0,99004983	0,59	0,55432728
0,03	0,97044553	0,61	0,54335087
0,05	0,95122942	0,63	0,5325918
0,07	0,93239382	0,65	0,52204578
0,09	0,91393119	0,67	0,51170858
0,11	0,89583414	0,69	0,50157607
0,13	0,87809543	0,71	0,4916442
0,15	0,86070798	0,73	0,48190899
0,17	0,84366482	0,75	0,47236655
0,19	0,82695913	0,77	0,46301307
0,21	0,81058425	0,79	0,4538448
0,23	0,7945336	0,81	0,44485807
0,25	0,77880078	0,83	0,43604929
0,27	0,76337949	0,85	0,42741493
0,29	0,74826357	0,87	0,41895155
0,31	0,73344696	0,89	0,41065575
0,33	0,71892373	0,91	0,40252422
0,35	0,70468809	0,93	0,39455371
0,37	0,69073433	0,95	0,38674102
0,39	0,67705687	0,97	0,37908304
0,41	0,66365025	0,99	0,37157669
0,43	0,65050909	1	0,36787944
0,45	0,63762815	1,01	0,36421898
0,47	0,62500227	1,03	0,35700696
0,49	0,61262639	1,05	0,34993775
0,51	0,60049558	1,07	0,34300852
0,53	0,58860497	1,09	0,33621649
0,55	0,57694981	1,11	0,32955896

Продолжение прил. 1

X	e^{-x}	X	e^{-x}
1,13	0,32303326	1,73	0,17728441
1,15	0,31663677	1,75	0,17377394
1,17	0,31036694	1,77	0,17033299
1,19	0,30422126	1,79	0,16696017
1,21	0,29819728	1,81	0,16365414
1,23	0,29229258	1,83	0,1604136
1,25	0,2865048	1,85	0,1572372
1,27	0,28083162	1,87	0,1541237
1,29	0,27527078	1,89	0,1510718
1,31	0,26982006	1,91	0,1480804
1,33	0,26447726	1,93	0,1451482
1,35	0,25924026	1,95	0,1422741
1,37	0,25410696	1,97	0,1394569
1,39	0,2490753	1,99	0,1366954
1,41	0,24414328	2	0,1353353
1,43	0,23930892	2,05	0,1287349
1,45	0,23457029	2,15	0,1164842
1,47	0,22992549	2,25	0,1053992
1,49	0,22537266	2,35	0,0953692
1,51	0,22090998	2,45	0,0862936
1,53	0,21653567	2,55	0,0780817
1,55	0,21224797	2,65	0,0706512
1,57	0,20804518	2,75	0,0639279
1,59	0,20392561	2,85	0,0578443
1,61	0,19988761	2,95	0,0523397
1,63	0,19592957	3,05	0,0473589
1,65	0,19204991	3,15	0,0428521
1,67	0,18824707	3,25	0,0387742
1,69	0,18451952	3,35	0,0350844
1,71	0,18086579	3,45	0,0317456

Окончание прил. 1

X	e^{-x}	X	e^{-x}
3,55	0,0287246	5,35	0,0047482
3,65	0,0259911	5,45	0,0042963
3,75	0,0235177	5,55	0,0038875
3,85	0,0212797	5,65	0,0035175
3,95	0,0192547	5,75	0,0031828
4,05	0,0174224	5,85	0,0028799
4,15	0,0157644	5,95	0,0026058
4,25	0,0142642	6,1	0,0022429
4,35	0,0129068	6,3	0,0018363
4,45	0,0116786	6,5	0,0015034
4,55	0,0105672	7	0,0009119
4,65	0,0095616	7,5	0,0005531
4,75	0,0086517	8	0,0003355
4,85	0,0078284	8,5	0,0002035
4,95	0,0070834	9	0,0001234
5,05	0,0064093	9,5	7,485E-05
5,15	0,0057994	10	4,54E-05
5,25	0,0052475		

Квантили распределения χ^2

Число степеней свободы	Квантили распределения при доверительной вероятности α					
	0,05	0,100	0, 200	0,900	0,950	0,975
1	0,00	0,016	0,064	2,71	3,84	5,02
2	0,103	0,0211	0,446	4,61	5,99	7,38
3	0,352	0,584	1,0	6,25	7,81	9,35
4	0,711	1,06	1,65	7,78	9,49	11,1
5	1,15	1,61	2,34	9,24	11,1	12,8
6	1,64	2,20	3,07	10,6	12,6	14,4
7	2,17	2,83	3,82	12,0	14,61	16,0
8	2,73	3,49	4,59	13,4	15,5	17,5
9	3,33	4,17	5,38	14,7	16,9	19,0
10	3,94	4,87	6,18	16,0	18,3	20,0
11	4,57	5,58	6,99	17,3	19,7	21,9
12	5,23	6,30	7,81	18,5	21,0	23,3
13	5,89	7,04	8,63	19,8	22,4	24,7
14	6,57	7,79	9,47	21,1	23,4	26,1
15	7,26	8,55	10,3	22,3	25,0	27,5
16	7,96	9,31	11,2	23,5	26,3	28,8
18	9,39	10,9	12,0	26,0	28,9	31,6
20	10,9	12,4	14,6	28,4	31,4	34,2
22	12,3	14,0	16,3	30,8	33,9	36,8
24	13,8	15,7	18,1	33,2	36,4	39,4
26	15,4	17,3	19,8	35,6	38,9	41,9
28	16,9	18,9	21,3	37,9	41,3	44,5
30	18,5	20,6	23,4	40,3	43,8	47,0
35	22,5	24,8	27,8	46,1	49,9	53,2
40	26,5	29,1	32,3	51,8	55,8	59,3

Значения интеграла вероятности вида

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx$$

X	Φ (x)	X	Φ (x)
0,00	0,0000	1,60	0,9736
0,10	0,1125	1,70	0,9838
0,20	0,2227	1,80	0,9891
0,30	0,3286	1,90	0,9928
0,40	0,4284	2,00	0,9953
0,50	0,5205	2,10	0,9970
0,60	0,6039	2,20	0,9981
0,70	0,6778	2,30	0,9988
0,80	0,7421	2,40	0,9993
0,90	0,7969	2,50	0,9996
1,00	0,8427	2,60	0,9998
1,10	0,8802	2,70	0,9999
1,20	0,9103	2,80	0,9999
1,30	0,9340	2,90	0,9999
1,40	0,9523	3,00	1,0000
1,50	0,9661		

Квантили распределения Стьюдента

Число степеней свободы	Квантили распределения при вероятности α		
	0,8	0,9	0,95
1	1,376	3,078	6,314
3	0,978	1,638	2,353
5	0,920	1,476	2,015
12	0,883	1,383	1,833
15	0,873	1,356	1,782
18	0,866	1,341	1,753
21	0,862	1,330	1,734
23	0,859	1,323	1,721
25	0,858	1,318	1,671
27	0,856	1,316	1,708

СОДЕРЖАНИЕ

Тема №1. Введение в курс надежности электрических машин и аппаратов	3
Тема №2. Законы распределения отказов электрических машин и аппаратов	5
Тема №3. Периоды работы электрических машин и аппаратов. Доверительные границы	7
Тема №4. Структурная надежность и резервирование.....	9
Тема №5 Надежность различных типов электрических машин и аппаратов ..	13
5.1 Построение гистограмм электрических машин и аппаратов	17
Библиографический список	21
Приложения	22

Учебное издание

Соломин Владимир Александрович
Замшина Лариса Леонидовна

СБОРНИК ЗАДАЧ
«НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ»

Печатается в авторской редакции

Технический редактор Н.С. Федорова

Подписано в печать 30.12.15. Формат 60×84/16.

Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,63.

Тираж экз. Изд. № 50222. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.