

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

Надежность технических систем и техногенный риск

Методические указания к изучению дисциплины и выполнению
контрольной работы для студентов очно-заочной и заочной форм обучения
по направлению 20.03.01 – Техносферная безопасность

Санкт-Петербург
2016

Утверждено
на заседании кафедры
15.06.2016 г., протокол № 9

Рецензент С. В. Буринский

Методические указания содержат задания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск». В методических указаниях также представлено содержание дисциплины, самостоятельное изучение которой предусмотрено учебным планом. Приведены примеры определения показателей надежности химико-технологических систем, задания для самостоятельной работы и тесты для автоматизированной системы контроля знаний студентов.

Предназначены для студентов бакалавриата очно-заочной и заочной форм обучения по направлению подготовки 20.03.01– Техносферная безопасность.

Оригинал-макет подготовлен составителем

Подписано в печать __. __. 16 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,7. Тираж 100 экз. Заказ .

Электронный адрес: <http://publish.sutd.ru>

Отпечатано в типографии ФГБОУВО «СПбГУПТД»
191028, С.-Петербург, ул. Моховая, 26

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| 1. Содержание дисциплины | 5 |
| 2. Контрольные задачи по теме “Основные показатели надежности” | 6 |
| 3. Контрольные задачи по теме “Основные законы распределения, используемые в теории надежности” | 8 |
| 4. Контрольные задачи по теме “Расчет показателей надежности для комбинированного соединения элементов” | 10 |
| 5. Контрольные задачи по теме “Структурное резервирование” | 14 |
| 6. Примеры тестовых заданий | 14 |
| 7. Распределение задач контрольной работы | 17 |
| 8. Перечень вопросов для подготовки к контролю знаний | 17 |
| Список литературы | 19 |
| <i>Приложение А. Примеры выполнения контрольных заданий</i> | 20 |

Введение

Методические указания включают рекомендации к изучению дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск».

В рамках изучения дисциплины предусмотрено выполнение расчетов показателей надежности химико-технологических систем (ХТС) на практических занятиях и выполнение контрольной работы. В представленных методических указаниях приведено содержание дисциплины, перечень контрольных задач, а также вопросы для подготовки к контролю знаний по дисциплине.

Расчет надежности необходимо проводить как для новых ХТС, так и для ХТС находящихся в эксплуатации. На стадии проектирования такой расчет позволяет ориентировочно оценить надежность элементов ХТС, сопоставить полученные значения с требуемыми показателями надежности и принять соответствующие решения.

Оценка надежности работающих ХТС позволяет решить вопросы технической эксплуатации, профилактики и ремонта. При хорошей организации технической эксплуатации можно заблаговременно предусмотреть появление тех или иных отказов и принять меры для повышения надежности ХТС.

1. Содержание дисциплины

Учебный модуль 1. Показатели надежности технических систем

Тема 1. Показатели надежности объектов.

Долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. Вероятность безотказной работы. Вероятность отказа. Плотность вероятности. Интенсивность отказов.

Гамма-процентный ресурс. Коэффициент готовности. Коэффициент технического использования. Срок службы. Срок гарантии.

Статистическая оценка показателей надежности.

Тема 2. Основные законы распределения, используемые в теории надежности

Тема 3. Расчет показателей надежности ХТС

Расчет показателей надежности ХТС с последовательным, параллельным, с комбинированным соединением элементов. Общая характеристика методов повышения надежности. Виды и способы резервирования. Структурное резервирование. Временное резервирование. Информационное, функциональное и нагрузочное резервирование. Способы структурного резервирования

Учебный модуль 2. Методология анализа и оптимизации надежности химико-технологических систем (ХТС)

Тема 4. Способы повышения надежности ХТС

Общая характеристика методов повышения надежности. Виды и способы резервирования. Структурное резервирование. Временное резервирование. Информационное, функциональное и нагрузочное резервирование. Способы структурного резервирования

Тема 5. Системный подход к исследованию и оптимизации надежности ХТС. Техническое обслуживание. Методы оптимизации технического обслуживания. Технологические способы повышения надежности. Символические и топологические модели надежности ХТС. Методы и алгоритмы расчета показателей надежности ХТС.. Методы оптимизации надежности ХТС.

Учебный модуль 3. Техногенный риск

Тема 5. Риск как количественная мера опасности.

Классификация рисков. Трактовки риска как количественной меры опасности.

Тема 6. Управление рисками

Оценка и управление различными рисками

2. Контрольные задачи по теме “Основные показатели надежности”

1. В результате статистического исследования материалов по отказам хлоратора ЛОНИН-100 получены следующие данные: $N_0 = 18$.

| Интервал времени Δt , ч | Количество отказов на интервале |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 0 – 4000 | 1 |
| 4000 – 8000 | 2 |
| 8000 – 12000 | 3 |
| 12000 – 16000 | 2 |
| 16000 – 20000 | 3 |
| 20000 – 24000 | 7 |

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

2. Имеются следующие данные об отказах насосов, ч: 200, 100, 100, 200, 100, 400, 400, 300, 300, 600, 500, 600, 800, 700, 900, 700, 900, 1100, 1000, 1000, 1900, 2000, 1700, 2400, 2200, 625, 1400, 470, 1620.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

3. Имеются следующие данные об отказах насосов, ч: 250, 350, 600, 340, 200, 150, 150, 600, 500, 540, 240, 330, 235, 240, 245, 200, 190, 220, 240, 102, 360, 480, 320, 122, 190, 160, 300, 470, 320, 120, 190, 157, 220, 283, 255, 66, 418, 346.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

4. Имеются следующие данные об отказах бил молотковой дробилки, ч: 11, 9, 5, 6, 5, 4, 5, 7, 3, 5, 8, 8, 3, 11, 9, 5, 6, 5, 6, 5, 4, 5, 7, 8, 5, 8, 8, 4, 5, 4, 6, 7, 6, 6, 6, 10, 7, 7, 8, 3, 6, 5, 8, 8, 3, 8, 5, 4, 5, 6, 6, 9, 4, 5, 7, 6, 6, 5, 7, 7, 5, 6, 5, 4, 4, 7, 7, 6, 3, 7, 7, 7, 3, 6, 6, 8, 5, 8, 8, 8, 4, 5, 9, 7, 4, 6, 7, 10, 6.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

5. Имеются следующие данные об отказах мембран диафрагмового насоса, ч: 33, 38, 34, 28, 30, 34, 34, 31, 39, 40, 36, 27, 27, 21, 33, 32, 32, 33, 34, 33, 32, 33, 27, 36, 35, 32, 35, 36, 37, 34, 36, 33, 30, 29, 36, 35, 31, 33, 38, 30, 28, 25, 34, 31, 39, 30, 30, 34, 35, 36, 32, 31, 29, 34, 32, 32, 31, 25, 37, 37, 35,

36, 35, 24, 34, 37, 27, 26, 23, 27, 37, 37, 33, 36, 36, 38, 35, 38, 38, 28, 24, 25, 29, 27, 24, 26, 37, 40, 46.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

6. Имеются следующие данные об отказах сальниковых проходных кранов, ч: 23, 18, 34, 28, 30, 34, 34, 31, 39, 40, 36, 27, 27, 21, 33, 32, 32, 33, 34, 33, 32, 33, 10, 36, 35, 32, 35, 36, 37, 34, 36, 33, 30, 29, 36, 35, 31, 33, 38, 30, 28, 25, 34, 31, 33, 30, 30, 34, 35, 36, 32, 31, 29, 34, 32, 32, 31, 25, 37, 27, 35, 36, 35, 24, 14, 37, 17, 26, 23, 27, 37, 37, 33, 36, 36, 38, 35, 38, 38, 28, 24, 25, 29, 27, 24, 26, 37, 40, 46.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

7. В результате статистического исследования материалов по отказам группы аппаратов получены следующие результаты безотказной работы, ч: 1250, 1310, 1966, 1231, 1430, 1487, 920, 980, 1361, 1314, 1936, 910, 430, 1487, 1025, 978, 1361, 576, 1936, 912, 450, 1487, 1025, 1361, 576, 114, 912, 450, 1765, 1025, 1639, 576, 114, 1242, 450, 1765, 919, 1639, 900, 114, 1242, 780, 1765, 919, 331, 1639, 906, 1242, 780, 2095, 919, 331, 1969, 900, 1646, 780, 2095, 1197, 331, 1969, 1071, 1646, 622, 2095, 119, 735, 1969, 1071, 338, 1646, 602, 212, 1197, 735, 1863, 1071, 338, 1540, 622, 212, 1527, 1863, 1401, 338, 1540, 952, 212, 1627, 629, 1863, 1401, 616, 1540, 950, 480.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

8. В результате статистического исследования материалов по отказам группы аппаратов получены следующие результаты безотказной работы, ч: 1254, 1314, 1936, 1241, 1427, 1487, 918, 978, 1361, 1314, 1936, 912, 427, 1487, 1025, 978, 1361, 576, 1936, 912, 450, 1487, 1025, 1361, 576, 114, 912, 450, 1765, 1025, 1639, 576, 114, 1242, 450, 1765, 919, 1639, 906, 114, 1242, 780, 1765, 919, 331, 1639, 906, 1242, 780, 2095, 919, 331, 1969, 906, 1646, 780, 2095, 1197, 331, 1969, 1071, 1646, 622, 2095, 119, 735, 1969, 1071, 338, 1646, 622, 212, 1197, 735, 1863, 1071, 338, 1540, 622, 212, 1527, 1863, 1401, 338, 1540, 952, 212, 1527, 629, 1863, 1401, 616, 1540, 952, 490.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

9. В результате статистического исследования материалов по отказам группы аппаратов получены следующие результаты безотказной работы, ч: 1244, 1314, 1936, 1240, 1427, 1487, 908, 978, 1361, 1314, 1936, 901, 427, 1487, 1040, 978, 1361, 576, 1936, 912, 450, 1487, 1025, 1361, 576, 114, 912, 450, 1765, 1025, 1639, 576, 114, 1242, 450, 1765, 919, 1639, 906, 114, 1242, 780, 1765, 919, 330, 1639, 906, 1242, 780, 2095, 919, 331, 1969, 906, 1646, 780, 2095, 1197, 331, 1980, 1071, 1646, 622, 2095, 119, 735, 1969, 1071, 338,

1646, 622, 212, 1197, 735, 1860, 1071, 338, 1540, 612, 215, 1527, 1863, 1400, 338, 1540, 952, 212, 1527, 629, 1870, 1400, 600, 1500, 9502, 470.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

10. В результате статистического исследования материалов по отказам группы аппаратов получены следующие результаты безотказной работы, ч: 1350, 1314, 1936, 1241, 1427, 1487, 908, 978, 1361, 1314, 1936, 912, 447, 1487, 1025, 978, 1361, 576, 1936, 912, 450, 1487, 1025, 1361, 586, 114, 912, 450, 1765, 1045, 1639, 576, 114, 1242, 450, 1765, 919, 1639, 906, 114, 1242, 780, 1765, 919, 341, 1639, 906, 1242, 780, 2095, 919, 331, 1969, 906, 1646, 780, 2095, 1197, 331, 1969, 1071, 1646, 622, 2095, 119, 735, 1969, 1071, 338, 1646, 622, 212, 1197, 735, 1860, 1081, 338, 1540, 622, 212, 1527, 1863, 1401, 338, 1540, 952, 212, 1527, 629, 1873, 1400, 646, 1640, 972, 500.

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

3. Контрольные задачи по теме «Основные законы распределения, используемые в теории надежности»

1. Плотность отказов элемента ХТС подчиняется квадратическому закону распределения $f(t) = at^2$. Распределение задано на интервале $0 \leq t \leq t_{\max}$ ($t_{\max} = 100$ ч).

Определить основные характеристики распределения и числовые значения основных характеристик надежности аппарата, вероятность отказа, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов для момента времени $t = 50$ ч.

2. Плотность отказов элемента ХТС $f(t) = 1$. Распределение задано на интервале $0 \leq t \leq t_{\max}$ ($t_{\max} = 1$ ч).

Определить основные характеристики распределения и числовые значения основных характеристик надежности аппарата, вероятность отказа, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов для момента времени $t = 0.5$ ч.

3. Плотность отказов элемента ХТС $f(t) = 2t$. Распределение задано на интервале $0 \leq t \leq t_{\max}$ ($t_{\max} = 1$ ч).

Определить основные характеристики распределения и числовые значения основных характеристик надежности аппарата, вероятность отказа, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов для момента времени $t = 0.5$ ч.

4. Плотность отказов элемента ХТС $f(t) = 2(1-t)$. Распределение задано на интервале $0 \leq t \leq t_{\max}$ ($t_{\max} = 1$ ч).

Определить основные характеристики распределения и числовые значения основных характеристик надежности аппарата, вероятность отказа, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов для момента времени $t = 0.5$ ч.

5. Фильтр типа $KД$, используемый в системах приточной вентиляции и кондиционирования предприятий текстильной и легкой промышленности, имеет интенсивность отказов $\lambda(t) = 66 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Определить характеристики надежности фильтра за время $t = 1500$ ч: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$ и среднюю наработку на отказ T .

6. Интенсивность отказов элемента ХТС $\lambda = 0.001 \text{ ч}^{-1}$. Определить за время $t = 1500$ ч: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$ и среднюю наработку на отказ T при экспоненциальном распределении.

7. Аппарат имеет экспоненциальное распределение наработки до отказа с параметром $\lambda = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Определить:

вероятность того, что аппарат безотказно проработает в интервале наработки $[0, 10000]$ ч;

вероятность того, что аппарат безотказно проработает в интервале наработки $[10^3, 10^4]$ ч.

8. Фильтр воздушный ячейковый, используемый в системах приточной вентиляции и кондиционирования предприятий текстильной и легкой промышленности, имеет интенсивность отказов $\lambda = 20 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Определить характеристики надежности фильтра $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$ за время $t = 1000$ ч и T .

9. Длительность времени безотказной работы рулонного фильтра имеет экспоненциальное распределение. Интенсивность отказов фильтра $\lambda = 0.00033 \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность того, что за время 8760 ч:

- а) фильтр откажет;
- б) фильтр не откажет.

10. Испытываются два независимо работающих рулонных фильтра. Длительность времени безотказной работы фильтров имеет экспоненциальное распределение

$$Q_1(t) = 1 - \exp(-0,00033t);$$

$$Q_2(t) = 1 - \exp(-0,000125t).$$

Определить вероятность того, что за время 1000 ч:

- а) оба фильтра откажут;
- б) оба фильтра не откажут;
- в) только один фильтр откажет;
- г) хотя бы один фильтр откажет.

11. Время безотказной работы элемента ХТС описывается распределением Рэля. Параметр распределения $\sigma = 100$ ч. Определить характеристики надежности элемента ХТС $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ за время $t = 150$ ч и среднюю наработку на отказ T .

4. Контрольные задачи по теме “Расчет показателей надежности для комбинированного соединения элементов”

1. Определить вероятность $Pc(t)$ безотказной работы ХТС (рис. 1), состоящей из теплообменника и реактора, в котором протекает экзотермическая реакция за $t = 100$ ч.

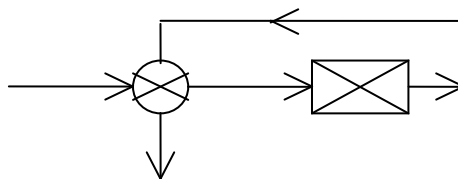


Рис. 1. Операторная схема ХТС

Закон распределения отказов экспоненциальный. Интенсивность отказов теплообменника $\lambda_{\square} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, реактора $\lambda_p = 11 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

2. ХТС состоит из пяти элементов с последовательным соединением. Параметры законов распределения времени безотказной работы элементов приведены в таблице. Определить среднее время безотказной работы ХТС.

| Номер элемента ХТС | Закон распределения | Параметры закона распределения |
|--------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | Экспоненциальный | $\lambda_3 = 10^{-5}, \text{ч}^{-1}$ |
| 2 | Экспоненциальный | $\lambda_4 = 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$ |
| 3 | Экспоненциальный | $\lambda_5 = 10^{-5}, \text{ч}^{-1}$ |
| 4 | Нормальный $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$ | $m = 1000 \text{ ч}$ |

| Номер элемента ХТС | Закон распределения | Параметры закона распределения |
|--------------------|---|--------------------------------|
| 5 | Распределение Эрланга $f(t) = \lambda_o \frac{(\lambda_o t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda_o t}$ | $k = 2, \lambda_o = 0,001$ |

3. Определить вероятность $P_c(t)$ безотказной работы ХТС (рис. 2), состоящей из смесителя, реактора и делителя, за время $t = 200$ ч.

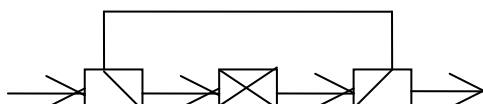


Рис. 2. Операторная схема ХТС

4. Закон распределения отказов экспоненциальный. Интенсивность отказов:

$$\begin{aligned} \text{смесителя} & \quad \lambda_{см} = 0,000001 \text{ ч}^{-1}; \\ \text{реактора} & \quad \lambda_p = 11 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}; \\ \text{делителя} & \quad \lambda_d = 0,000002 \text{ ч}^{-1}. \end{aligned}$$

5. Определить вероятность безотказной работы системы теплообменников с промежуточным теплоносителем (рис. 3) за время $t = 500$ ч. Закон распределения отказов экспоненциальный с параметрами:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}.$$

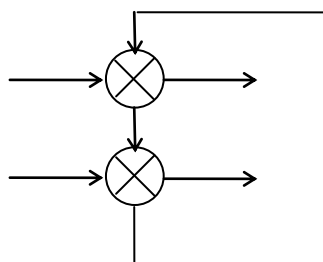


Рис. 3. Операторная схема системы теплообменных аппаратов с промежуточным теплоносителем

6. На рис. 4 приведена блок-схема надежности ХТС. Напишите выражение для определения вероятности безотказной работы ХТС $P_c(t)$.

Закон распределения отказов экспоненциальный с параметрами: $\lambda_i = 15 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Определить среднюю наработку до отказа системы T и ресурс функционирования системы при условии, что вероятность безотказной работы системы к концу этого срока не должна быть ниже заданного

допустимого уровня $P_{don} = 0,95$. Закон распределения отказов экспоненциальный с параметрами: $\lambda_i = 15 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$

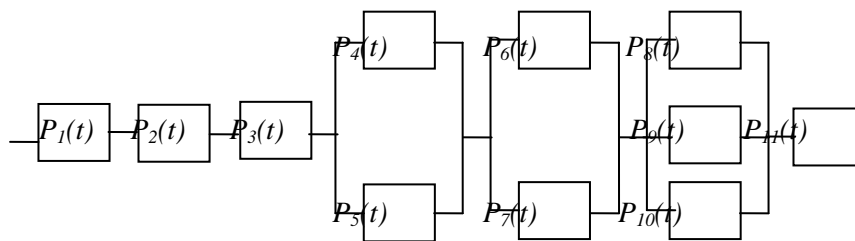


Рис. 4. Блок-схема надежности

7. На рис.5 приведена блок-схема надежности ХТС. Напишите выражение для определения вероятности безотказной работы ХТС $P_c(t)$. Определить среднюю наработку до отказа системы T и ресурс функционирования системы при условии, что вероятность безотказной работы системы к концу этого срока не должна быть ниже заданного допустимого уровня $P_{don} = 0,95$.

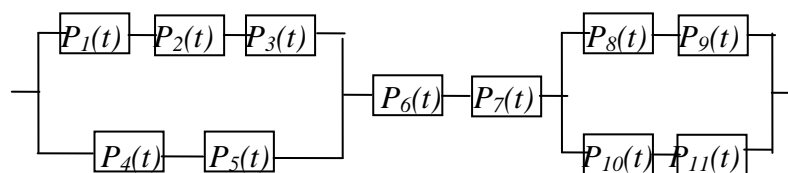


Рис. 5 Блок-схема надежности

8. Блок-схема надежности ХТС имеет вид (рис. 6)

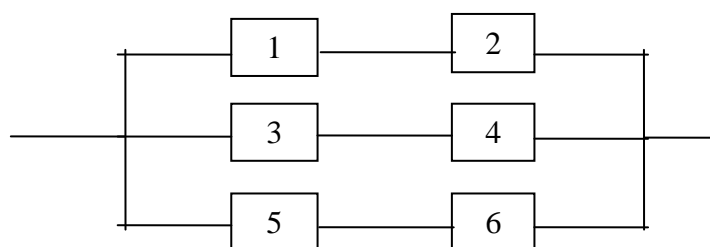


Рис. 6 Блок-схема надежности

Наработка элементов до отказа имеет экспоненциальное распределение с параметрами: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = 0,0001 \text{ ч}^{-1}$.

Определить ресурс функционирования системы при условии, что вероятность безотказной работы системы к концу этого срока не должна быть ниже заданного допустимого уровня $P_{don} = 0,95$.

9. Блок-схема надежности ХТС имеет вид, приведенный на рис. 7.

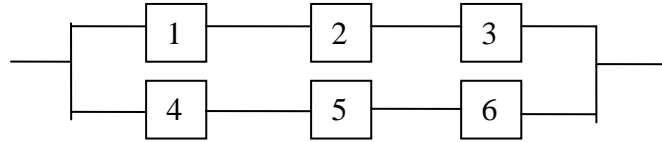


Рис. 7. Блок-схема надежности

Наработка элементов до отказа имеет экспоненциальное распределение с параметрами: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = 0,0001 \text{ ч}^{-1}$.

Определить среднюю наработку до отказа системы T и ресурс функционирования системы при условии, что вероятность безотказной работы системы к концу этого срока не должна быть ниже заданного допустимого уровня $P_{\text{дон}} = 0,95$.

10. Блок-схемы надежности ХТС имеют вид, приведенный на рис. 8.

Наработка элементов до отказа имеет экспоненциальные распределения с параметрами: $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,001 \text{ ч}^{-1}$; $\lambda_3 = \lambda_4 = 0,0001 \text{ ч}^{-1}$.

Определить ресурс функционирования систем при условии, что вероятность безотказной работы систем к концу этого срока не должна быть ниже заданного допустимого уровня $P_{\text{дон}} = 0,95$.

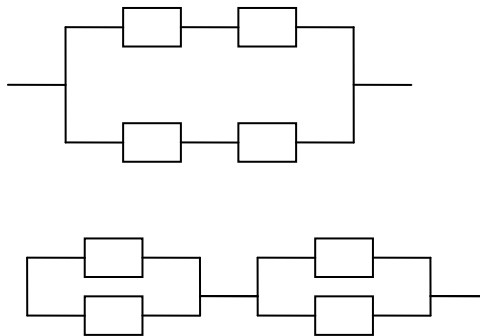


Рис. 8. Блок-схемы надежности ХТС

5. Контрольные задачи по теме “Структурное резервирование”

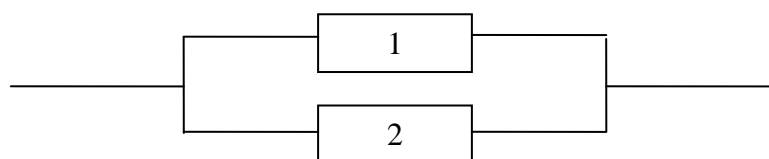
Определить вероятность безотказной работы системы на интервале 0 – 2000 ч и среднее время безотказной работы.

| Вариант | Вид резервирования | Число элементов в основной системе | Число резервных цепей | Параметры распределения |
|---------|--------------------|------------------------------------|-----------------------|--|
| 1 | Общее | 3 | 1 | Вейбулла, $k=2$ $\lambda_0=3 \cdot 10^{-7}$ |
| 2 | Раздельное | 3 | 1 | Вейбулла, $k=2$ $\lambda_0=3 \cdot 10^{-7}$ |
| 3 | Общее | 3 | 2 | Вейбулла, $k=2$ $\lambda_0=3 \cdot 10^{-7}$ |
| 4 | Раздельное | 3 | 2 | Вейбулла, $k=2$ $\lambda_0=3 \cdot 10^{-7}$ |
| 5 | Общее | 3 | 2 | Эрланга $k=4, \dots$ |
| 6 | Раздельное | 3 | 2 | Эрланга $k=4, \lambda_0=0,001$ |
| 7 | Общее | 3 | 2 | Экспоненциальное $\lambda=0,0005$ |
| 8 | Раздельное | 3 | 2 | Экспоненциальное $\lambda=0,0005$ |
| 9 | Общее | 3 | 1 | Рэлея, $\sigma=200$ |
| 10 | Раздельное | 3 | 1 | Рэлея, $\sigma=200$ |

6. Примеры тестовых заданий

- 1 Введите с клавиатуры рабочей станции название свойства элемента ХТС выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки
- 2 Введите с клавиатуры рабочей станции название свойства элемента ХТС непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.
- 3 Введите с клавиатуры рабочей станции название свойства элемента ХТС, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.
- 4 Введите с клавиатуры рабочей станции название состояния элемента

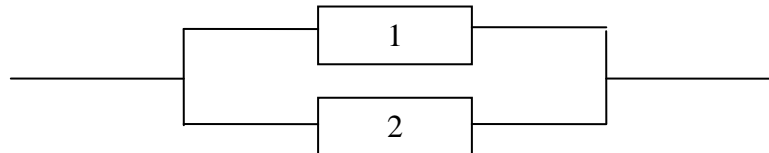
- ХТС, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.
- 5 Введите с клавиатуры рабочей станции название показателя надежности, определяющего вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.
 - 6 Введите с клавиатуры рабочей станции название резерва, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в менее нагруженном режиме, чем основной.
 - 7 Введите с клавиатуры рабочей станции название резерва, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в режиме основного элемента.
 - 8 Введите с клавиатуры рабочей станции название элемента объекта, предназначенного для выполнения функций основного элемента в случае отказа последнего.
 - 9 Как называется отношение числа резервных элементов объекта к числу резервируемых или основных элементов объекта.
 - 10 Как называется резервирование с применением резервных элементов структуры объекта.
 - 11 Как называется резервирование с применением резервов времени?
 - 12 Как называется резервирование с применением резервов информации?
 - 13 Как называется соединение элементов в смысле надежности, если система отказывает только в том случае, когда отказали все ее элементы?
 - 14 Параметр экспоненциального распределения $\lambda = 0,01$ 1/ч. Введите значение дисперсии наработки до отказа.
 - 15 Параметр экспоненциального распределения $\lambda = 0,01$ 1/ч. Введите значение среднего времени наработки на отказ.
 - 16 Параметр экспоненциального распределения $\lambda = 0,01$ 1/ч. Введите значение коэффициента вариации
 - 17 Длительность времени безотказной работы элемента ХТС имеет экспоненциальное распределение $\lambda = 0,01$ 1/ч. Введите значение вероятности того, что за время длительностью 50 часов элемент откажет. Ответ может быть дан в виде числа (3 знака после десятичной точки) или арифметического выражения.
 - 18 Определите название закона распределения, для которого плотность вероятности имеет вид $f(t) = 1/T \exp(-t/T)$, где T – средняя наработка на один отказ.
 - 19 На рисунке приведена блок-схема надежности ХТС



Обозначим: p_1, p_2 – вероятности безотказной работы элементов;
 p – вероятность безотказной работы системы.

Введите формулу для определения вероятности безотказной работы ХТС.

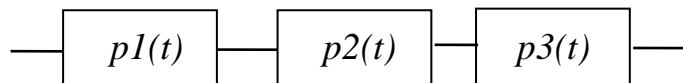
- 20 На рисунке приведена блок-схема надежности ХТС



Обозначим: p_1, p_2 – вероятности безотказной работы элементов;
 $p_1=0. @ p_2=0. @ r$
 p – вероятность безотказной работы системы.

Введите значение вероятности безотказной работы ХТС в виде $p=<число>$

- 21 На рисунке приведена блок-схема надежности ХТС



Распределение отказов экспоненциальное.

Обозначим: T_1, T_2, T_3 – среднее время до отказов 1-го, 2-го и 3-го элементов; T – среднее время до отказа системы.

Введите формулу для определения среднего времени работы до отказа системы.

7. Распределение задач контрольной работы

Вариант контрольной работы совпадает с последней цифрой номера зачетной книжки (шифра). Контрольная работа включает задачи по четырем темам.

8. Перечень вопросов для подготовки к контролю знаний

1. Основные понятия в области надежности. Надежность, безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость. Отказ. Классификация отказов.
2. Определения вероятности безотказной работы элемента химико-технологической системы (ХТС), вероятности отказа, интенсивности отказов, средней наработки
3. Коэффициенты надежности. Коэффициент готовности. Коэффициент вынужденного простоя. Коэффициент профилактики
4. Статистические показатели надежности. Среднее время между соседними отказами. Средняя частота отказов. Среднее время восстановления.
5. Основные законы распределения, используемые в теории надежности.
6. Расчет надежности ХТС с последовательным соединением элементов.
7. Расчет надежности ХТС с параллельным соединением элементов
8. Расчет надежности систем с комбинированным соединением элементов
9. Расчет надежности систем типа m из n методом простого перебора.
10. Расчет надежности мостиковых систем методом простого перебора
11. Расчет надежности систем типа m из n методом минимальных путей и сечений
12. Расчет надежности мостиковых систем методом минимальных путей и сечений
13. Методы повышения надежности ХТС
14. Структурное резервирование. Определение числа резервных элементов
15. Влияние переключателей на надежность производственных систем
16. Организационно-технические и технологические способы повышения надежности производственных систем.

17. Оптимизация надежности производственных систем
18. Априорная и апостериорная трактовка техногенного риска
19. Классификация и сравнительная оценка факторов риска
20. Надежность человека как звена сложной производственной системы.
21. Прогнозирование техногенного риска.

Список литературы

1. Зубова, А. Ф. Надежность машин и аппаратов химических производств / А. Ф. Зубова. – Л.: Машиностроение, 1979. – 183 с.
2. Ильин, Ю. А. Надежность сооружений для очистки природных вод / Ю. А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1993. – 388 с.
3. Кафаров, В. В. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин, Г. Грун, В. Нойманн. – М.: Химия, 1987. – 270 с.
4. Лапин, В. А. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В. А. Лапин, В. М. Попов, Ф. Н. Рыжков, В. И. Томаков. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 1995. – 238 с.
5. Острейковский, В. А. Теория надежности : учебник / В. А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
6. Половко, А. М. Основы теории надежности. Практикум / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.

Приложение А
Примеры выполнения контрольных заданий

Пример решения задачи по теме “Основные показатели надежности”

В результате статистического исследования материалов по отказам группы электроверетен ($N_0=249$) получены данные (табл. 1).

Таблица 1

| Интервал времени $\Delta t_i, ч$ | Число отказов n_i | Интервал времени $\Delta t_i, ч$ | Число отказов n_i |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| 50–60 | 4 | 110–120 | 19 |
| 60–70 | 19 | 120–130 | 12 |
| 70–80 | 45 | 130–140 | 9 |
| 80–90 | 51 | 140–150 | 1 |
| 90–100 | 52 | 150–160 | 4 |
| 100–110 | 30 | 160–170 | 3 |

Провести расчет основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

Для расчета основных характеристик надежности: $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$. из статистических данных об отказах можно пользоваться следующими соотношениями:

Вероятность отказа $P(t)$

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

$$n(t) = \sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i.$$

где N_0 – число аппаратов находящихся под наблюдением; $n(t)$ – число аппаратов, отказавших за время t ; n_i – число аппаратов вышедших из строя в интервале времени Δt_i ; t – время, для которого определяется вероятность безотказной работы; Δt – принятая продолжительность интервала времени.

Вероятность отказа $Q(t)$

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0} = \frac{n(t)}{N_0}.$$

Среднее время безотказной работы при большом числе наблюдений

$$T = \sum_{i=1}^{k/\Delta t} \frac{n_i \bar{t}_i}{N_0}, \quad (9)$$

где n_i – число аппаратов, отказавших в i -ом интервале; \bar{t}_i – середина i -го интервала;

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i-1} + t_i}{2},$$

(t_{i-1} – время начала i -го интервала, t_i – время конца i -го интервала); t_k – время, в течение которого отказали все N_0 аппараты; Δt – выбранная величина интервала времени.

Оценка дисперсии времени отказов определяется соотношением

$$S^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{i=1}^m n_i (t_i - T)^2,$$

где m – число интервалов.

Плотность вероятности.

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \Delta t}$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N(t) \Delta t}$$

где $n(t)$ – число отказавших аппаратов за промежуток времени

$\left(t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$; Δt – интервал времени; $N(t) = \frac{N_{i-1} + N_i}{2}$ – среднее число аппаратов, находящихся на интервале времени в работоспособном состоянии; N_{i-1} – число исправно работающих аппаратов в начале интервала Δt , N_i – число исправно работающих аппаратов в конце интервала Δt .

$$P(t) = P(100) = \frac{249 - (4 + 19 + 45 + 51 + 52)}{249} = 0,31$$

$$Q(t) = Q(100) = \frac{4 + 19 + 45 + 51 + 52}{249} = 0,69$$

$$f(t) = f(55) = \frac{4}{249 \cdot 10} = 0,0016;$$

$$f(65) = \frac{19}{249 \cdot 10} = 0,00763;$$

$$f(75) = \frac{45}{249 \cdot 10} = 0,0181$$

и т. д. Результаты расчета приведены таблице 2.

$$T = \frac{4 \cdot 55 + 19 \cdot 65 + 45 \cdot 75 + 51 \cdot 85 + \dots + 4 \cdot 155 + 3 \cdot 165}{249} = 94,04$$

$$S^2 = \frac{1}{249-1} [4 \cdot (55-94,04)^2 + 19 \cdot (65-94,04)^2 + \dots + 3 \cdot (165-94,04)^2] = 458,74$$

Среднее квадратичное отклонение $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{458,74} = 21,42$.

Таблица 2

| Интервал времени $\Delta t_i, ч$ | Середина интервала | Число отказов n_i | Число работоспособных электродвигателей в начале интервала | Число работоспособных электродвигателей в конце интервала | Плотность вероятности | Вероятность отказа | Вероятность безотказной работы | Интенсивность отказа |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|--|---|-----------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|
| 50–60 | 55 | 4 | 249 | 245 | 0,0016 | 0,016 | 0,984 | 0,0016 |
| 60–70 | 65 | 19 | 245 | 226 | 0,0076 3 | 0,092 | 0,908 | 0,0081 |
| 70–80 | 75 | 45 | 226 | 181 | 0,0181 | 0,273 | 0,727 | 0,0221 |
| 80–90 | 85 | 51 | 181 | 130 | 0,0204 82 | 0,478 | 0,522 | 0,033 |
| 90–100 | 95 | 52 | 130 | 78 | 0,0208 84 | 0,687 | 0,313 | 0,050 |
| 100–110 | 105 | 30 | 78 | 48 | 0,0120 48 | 0,807 | 0,193 | 0,0476 |
| 110–120 | 115 | 19 | 48 | 29 | 0,0076 31 | 0,884 | 0,116 | 0,0494 |
| 120–130 | 125 | 12 | 29 | 17 | 0,0048 19 | 0,932 | 0,068 | 0,0522 |
| 130–140 | 135 | 9 | 17 | 8 | 0,0036 14 | 0,968 | 0,032 | 0,072 |
| 140–150 | 145 | 1 | 8 | 7 | 0,0004 02 | 0,972 | 0,028 | 0,013 |
| 150–160 | 155 | 4 | 7 | 3 | 0,0016 06 | 0,988 | 0,012 | 0,08 |
| 160–170 | 165 | 3 | 3 | 0 | 0,0012 05 | 1 | 0 | 0,2 |

Примеры решения задач по теме “Основные законы распределения, используемые в теории надежности”

Пример 1. По результатам эксплуатации производственной системы определены параметры нормального распределения $T_0 = 5,6$ и $s = 1,25$ года. Определить характеристики надежности системы для $t = 8$ лет.

Решение

$$T_0 := 5,6 \quad s := 1,25$$

Параметры нормального распределения

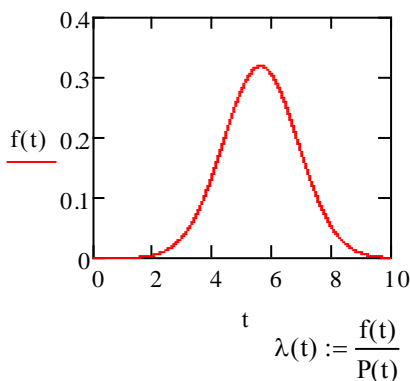
$$t1 := 8$$

$$f(t) := \frac{1}{s \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[\frac{-(t - T)^2}{2 \cdot s^2} \right]$$

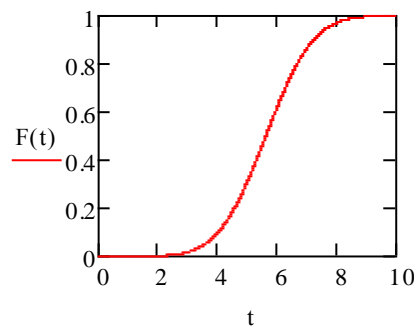
плотность вероятности нормального распределения

$$F(t) := \frac{1}{s \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^t \exp \left[\frac{-(t - T)^2}{2 \cdot s^2} \right] dt$$

Функция нормального распределения



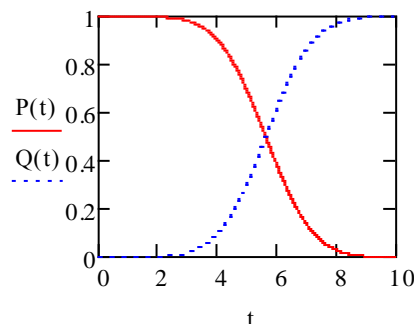
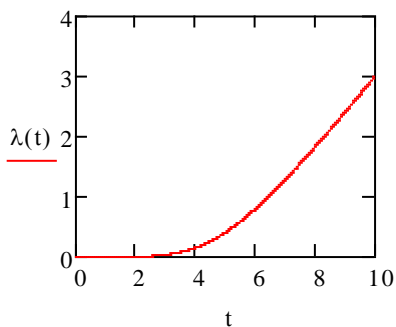
$$f(t1) = 0.051$$



$$P(t) := 1 - F(t) \quad Q(t) := F(t)$$

$$\lambda(t1) = 1.842$$

$$P(t1) = 0.027 \quad Q(t1) = 0.973$$

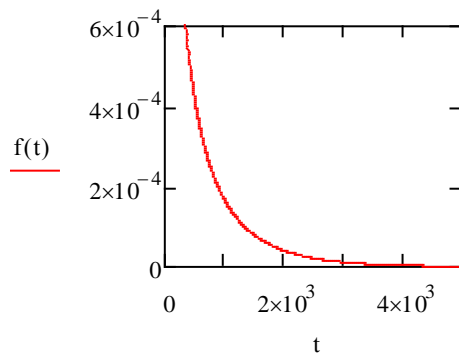


Пример 2. По результатам эксплуатации производственной системы определены параметры Гамма распределения $k = 0,4$ и $\lambda = 0.001$. Определить характеристики надежности системы для $t = 1000$ ч.

$$k := 0,4 \quad \lambda := 0.001$$

$$G(\eta) := \int_0^{\infty} x^{\eta-1} \cdot e^{-x} dx \quad \text{Гамма функция}$$

$$f(t) := \frac{\lambda^k}{G(k)} \cdot t^{k-1} \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{Плотность гамма-распределения}$$



$$f(1000) = 1.658 \times 10^{-4}$$

$$F(t) := \frac{\lambda^k}{G(k)} \cdot \left[\int_0^t t^{(k-1)} \cdot e^{-\lambda t} dt \right]$$

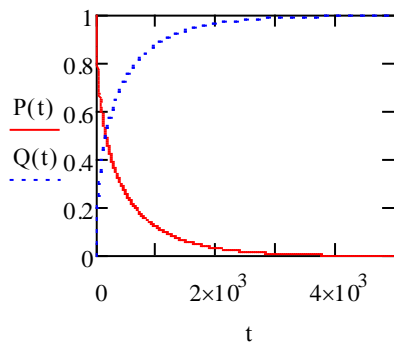
Интегральная функция гамма-распределения

$$F(1000) = 0.881$$

$$Q(t) := F(t)$$

$$P(t) := 1 - Q(t)$$

$$P(1000) = 0.119$$



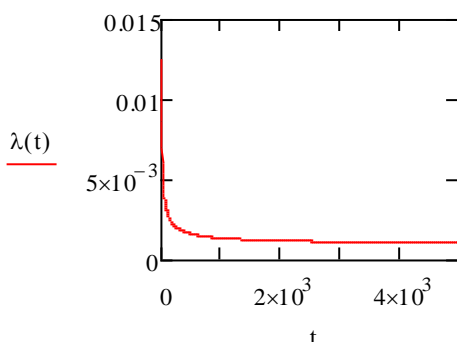
Математическое ожидание

$$m := \frac{k}{\lambda} \quad m = 400 \quad \lambda(t) := \frac{f(t)}{P(t)}$$

Дисперсия

$$\sigma^2 := \frac{k}{\lambda^2} \quad \sigma^2 = 4 \times 10^5$$

$$\sigma := \sqrt{\sigma^2} \quad \sigma = 632.456$$



Пример 3. По результатам эксплуатации производственной системы определены параметры распределения Вейбулла $k = 2$ и $\lambda = 79 \cdot 10^{-8}$. Определить характеристики надежности системы для $t = 2000$ ч.

$$k := 2$$

$$\lambda := 79 \cdot 10^{-8}$$

$$P(t) := \exp(-\lambda t^k)$$

$$Q(t) := 1 - P(t)$$

$$\lambda(t) := \lambda \cdot k \cdot t^{k-1}$$

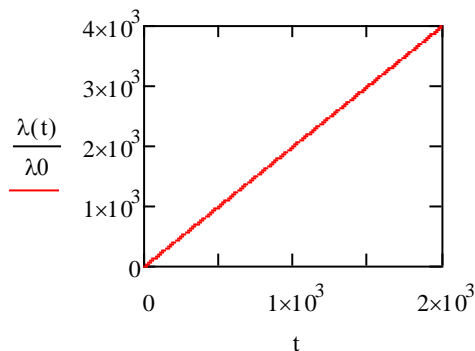
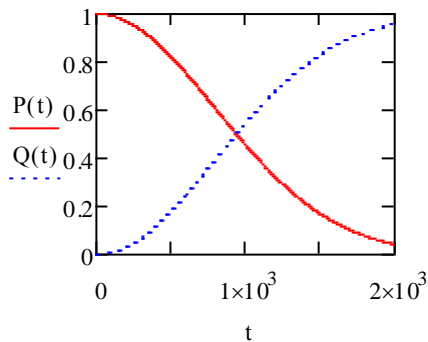
$$f(t) := \lambda \cdot k \cdot t^{k-1} \cdot \exp(-\lambda \cdot t^k)$$

$$tcr := \frac{\int_0^{\infty} \frac{1}{x^k} \cdot e^{-x} dx}{\frac{1}{\lambda^{\frac{1}{k}}}}$$

$$tcr = 997.083$$

$$tcr1 := \int_0^{\infty} P(t) dt$$

$$tcr1 = 997.083$$



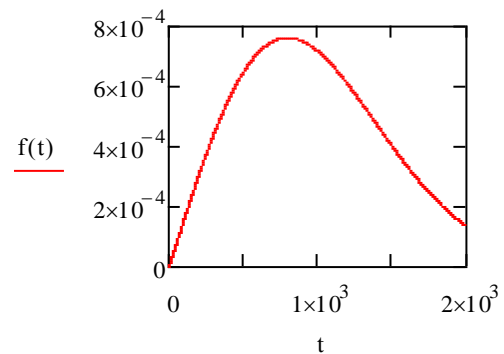
$$t0 := \frac{1}{\lambda}$$

$$a1 := \int_0^{\infty} \frac{k}{t0} \cdot t^{k+1} \cdot \exp\left(\frac{-t^k}{t0}\right) dt$$

$$a2 := t0^{\frac{2}{k}} \cdot \left(\int_0^{\infty} \frac{1}{x^k} \cdot e^{-x} dx \right)^2$$

$$\sigma := \sqrt{a1 - a2}$$

$$\sigma = 521.198$$



$$P(2000) = 0.042$$

$$f(2000) = 1.341 \times 10^{-4}$$

$$\lambda(2000) = 3.16 \times 10^{-3}$$

Пример решения задач по теме. Контрольные задачи по теме “Расчет показателей надежности для комбинированного соединения элементов”

На *рисунке 1* приведена блок–схема надежности ХТС, часть элементов которой включена последовательно, а часть – параллельно.

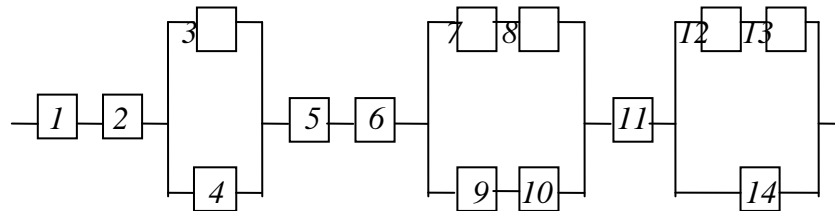


Рис. 1. Блок–схема надежности ХТС

Закон распределения отказов элементов экспоненциальный.

Определить среднюю наработку до отказа системы и гамма–процентный ресурс функционирования системы при $\gamma = 0,95$.

Определить вероятность безотказной работы $P_c(t)$ на интервале $0 - 1500$ ч.

Числовые значения интенсивности отказов, $ч^{-1}$:

$$\begin{aligned} \lambda_1 = \lambda_2 = 0,00001; & \quad \lambda_3 = \lambda_4 = 0,00035; \\ \lambda_5 = \lambda_6 = 0,0002; & \quad \lambda_7 = 0,00003; \\ \lambda_8 = 0,000031; & \quad \lambda_9 = 0,000025; \\ \lambda_{10} = 0,00009; & \quad \lambda_{11} = 0,000053; \\ \lambda_{12} = \lambda_{13} = 0,00025. & \quad \lambda_{14} = 0,00025. \end{aligned}$$

Решение.

Вероятность безотказной работы ХТС имеет вид

$$\begin{aligned} P_c(t) = & P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \{1 - [1 - P_3(t)] \cdot [1 - P_4(t)]\} \cdot P_5(t) \cdot P_6(t) \cdot \\ & \{1 - [1 - P_7(t) \cdot P_8(t)] \cdot [1 - P_9(t) \cdot P_{10}(t)]\} \cdot P_{11}(t) \cdot \\ & \{1 - [1 - P_{12}(t) \cdot P_{13}(t)] \cdot [1 - P_{14}(t)]\}, \end{aligned}$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента.

$$\lambda_1 := 0.0001 \quad \lambda_2 := 0.0001 \quad \lambda_3 := 0.00035 \quad \lambda_4 := 0.00035$$

$$\lambda_5 := 0.0002 \quad \lambda_6 := 0.0002 \quad \lambda_7 := 0.00003 \quad \lambda_8 := 0.000031$$

$$\lambda_9 := 0.000025 \quad \lambda_{10} := 0.00009 \quad \lambda_{11} := 0.000053 \quad \lambda_{12} := 0.00025$$

$$\lambda_{13} := 0.00025 \quad \lambda_{14} := 0.00025$$

$$P_1(t) := \exp(-\lambda_1 t) \quad P_2(t) := \exp(-\lambda_2 t) \quad P_3(t) := \exp(-\lambda_3 t) \quad P_4(t) := \exp(-\lambda_4 t)$$

$$P_5(t) := \exp(-\lambda_5 t) \quad P_6(t) := \exp(-\lambda_6 t) \quad P_7(t) := \exp(-\lambda_7 t) \quad P_8(t) := \exp(-\lambda_8 t)$$

$$P_9(t) := \exp(-\lambda_9 t) \quad P_{10}(t) := \exp(-\lambda_{10} t) \quad P_{11}(t) := \exp(-\lambda_{11} t)$$

$$P_{12}(t) := \exp(-\lambda_{12} t) \quad P_{13}(t) := \exp(-\lambda_{13} t) \quad P_{14}(t) := \exp(-\lambda_{14} t) \quad P_c(t) := (P_1(t) \cdot P_2(t)) \cdot P_5(t) \cdot P_6(t) \cdot P_{11}(t)$$

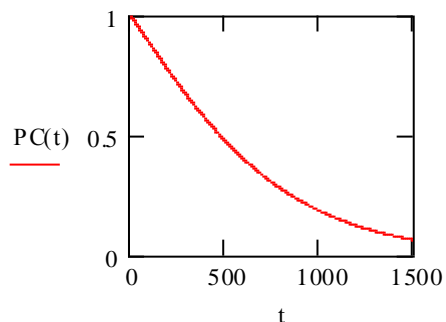
$$P_a(t) := 1 - (1 - P_3(t)) \cdot (1 - P_4(t))$$

$$Pb(t) := 1 - (1 - P7(t) \cdot P8(t)) \cdot (1 - P9(t) \cdot P10(t))$$

$$Pd(t) := 1 - (1 - P12(t) \cdot P13(t)) \cdot (1 - P14(t))$$

$$Pc(t) := Pc1(t) \cdot Pa(t) \cdot Pb(t) \cdot Pd(t)$$

$$\int_0^{\infty} Pc(t) dt = 605.05 \text{ Среднее время безотказной работы}$$



$$F(t) := 0.95 - Pc(t)$$

t := 100 Начальное приближение

root(F(t), t) = 43.807 Гамма – процентный ресурс

Примеры решения задач по теме. **Контрольные задачи по теме “Структурное резервирование”**

Основная система состоит из трех элементов $m = 3$. Резервирование раздельное, число резервных цепей 2. Вероятность безотказной работы каждого элемента выражается распределением Эрланга с параметрами $\lambda = 0,001$ $k = 4$. Определить вероятность безотказной работы системы на интервале 0 – 4000 ч и среднее время безотказной работы.

Решение.

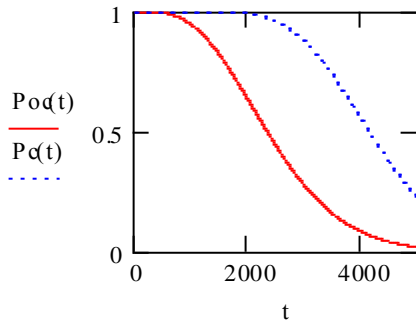
$$k := 4 \quad \lambda := 0.001 \quad m := 3 \quad n := 2$$

$$P(t) := \exp(-\lambda t) \cdot \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} \text{ Вероятность безотказной работы элемента}$$

$$Poc(t) := P(t)^n \text{ Вероятность безотказной работы системы из 3 аппаратов}$$

Вероятность безотказной работы системы из 3 аппаратов (последовательное резервирование). Число резервных элементов 2

$$Pc(t) := \left[1 - (1 - P(t))^{n+1} \right]^m$$



$$\int_0^{\infty} P_0(t) dt = 2.449 \times 10^3 \quad \text{Среднее время безотказной работы систем}$$

$$\int_0^{\infty} P(t) dt = 4.204 \times 10^3$$

Пример 2.

Производственная система резервируется в целом. Система состоит из 3 равнонадежных элементов. Число резервных цепей 1. Вероятность безотказной работы каждого элемента выражается распределением Вейбулла с параметрами $\lambda = 0,001$ $\mu = 0.5$. Определить вероятность безотказной работы системы общего резервирования на интервале 0 – 4500 ч.

Решение.

$$\mu := 0.5 \quad \lambda := 0.001$$

$$t := \begin{pmatrix} 0 \\ 500 \\ 1000 \\ 1500 \\ 2000 \\ 2500 \\ 3000 \\ 3500 \\ 4000 \\ 4500 \end{pmatrix}$$

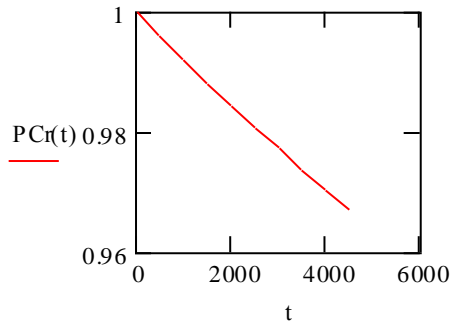
$n := 1$ n —число резервных цепей

$P1(t) := \exp(-\lambda t^\mu)$ Вероятность безотказной работы элемента

$m := 3$

Вероятность безотказной работы системы из m аппаратов (дублирование)

$$PC(t) := 1 - \left(1 - \exp(-m \cdot \lambda \cdot t^\mu)\right)^{n+1}$$



PCr(t) =

| | |
|---|-------|
| | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 0.996 |
| 2 | 0.992 |
| 3 | 0.988 |
| 4 | 0.984 |
| 5 | 0.981 |
| 6 | 0.977 |
| 7 | 0.974 |
| 8 | 0.97 |
| 9 | 0.967 |