



Некоммерческое
акционерное
общество

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электроники и
робототехники

НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для
студентов специальности 5В071600 – Приборостроение

СОСТАВИТЕЛЬ: Колесбаева А.А., Нургизат Е.С. Надежность приборов и систем. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В071600 – «Приборостроение».- Алматы: АУЭС, 2017, - 72 с.

Расчетно-графическая работа предназначена для студентов второго курса специальности 5В071600 – Приборостроение. Включает в себя все вопросы рабочей программы. Работа может быть использована студентами этой специальности при дипломаривании, включает в себя теоретические положения по теории надежности, обучение основным методом расчета надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем.

Ил.-21, табл. 7, библиогр. - 5 назв.

Рецензент: к.э.н., доцент Аренбаева Г.Ж.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2017 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2017 г.

1 Расчетно-графическая работа №1

1.1 Описание функциональной схемы

Числовое программное управление станком (ЧПУ) — управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме. Управление работой станка с числовым программным управлением (ЧПУ) выполняется с использованием типовых систем, вырабатывающих команды в соответствии с заданной в цифровой форме программой. Создание высокопроизводительных микроконтроллеров и однокристальных микро ЭВМ, составляющих программируемое ядро ЧПУ дало возможность с их помощью автоматически выполнять множество геометрических и технологических операций, а также осуществлять прямое цифровое управление системой электроприводов.

На рисунке 1 показана функциональная схема системы современного станка с ЧПУ. В состав системы электрооборудования входят:

- 1 — электропривод главного движения;
- 2 — электроприводы подачи;
- 3 — вспомогательные электроприводы;
- 4 — датчики технологических параметров;
- 5 — датчики обратных связей электроприводов;
- 6 — электроавтоматика станка;
- 7 — коммутлирующая аппаратура;
- 8 — устройство электрической блокировки, диагностики и контроля;
- 9 — пульт управления станком (в том числе и пульта ЧПУ).

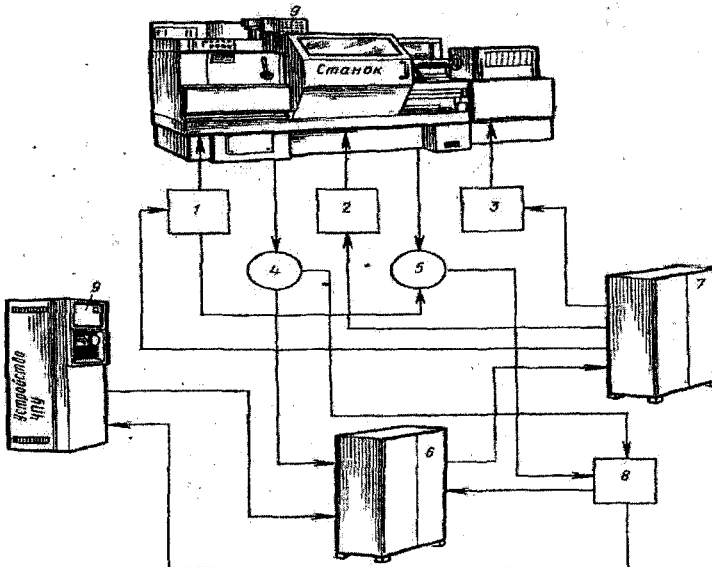


Рисунок 1.1 - Функциональная схема электрооборудования станков с ЧПУ

Электроприводами главного движения станков (1) с ЧПУ обычно являются двигатели переменного тока - для больших мощностей и постоянного тока - для малых мощностей. В качестве приводов служат трехфазные четырехполосные асинхронные двигатели, воспринимающие большие перегрузки и работающие при наличии в воздухе металлической пыли, стружки, масла и т.д. Поэтому в их конструкции предусмотрен внешний вентилятор. В двигатель встраивают различные датчики, например, датчик положения шпинделя, что необходимо для ориентации или обеспечения независимой координаты.

Вспомогательные электропривода (3) служат для создания вращательного и поступательного движения механизмов. Датчики обратных связей (5) электропривода преобразуют параметры электроприводов в пропорциональные им электрические сигналы. Электрический привод включает электрическую часть (электродвигатель и электрические устройства управления), а также механическую часть для передачи движения рабочим органам стан-ков. Электроавтоматика станка (6) может выполняться либо релейно- контактной, либо (для повышения надежности и увеличения функциональных возможностей) с помощью бесконтактных устройств и элементов на базе программируемых контроллеров. Коммутирующая аппаратура (7) (контакты, магнитные пускатели) предназначена для того, чтобы в автоматическом режиме включать и отключать силовые цепи электроприводов в зависимости от программы управления. Устройства диагностики и контроля (8) служат для контроля и индикации основных рабочих режимов, а также для защиты станка в аварийном режиме. Автоматические контролирующие устройства измеряют геометрические размеры обрабатываемых деталей и выдают команды на продолжение или окончание обработки. Для управления станками в различных режимах и контроля состояний их механизмов служат пульта управления.

Для создания современных и перспективных систем автоматического управления требуется все большее количество электронных устройств самого различного назначения; особенно это относится к системам числового и программного управления станками. Устройства ЧПУ содержат в себе сотни тысяч, а иногда и миллионы электронных элементов, которые должны обладать высокой надежностью, экономичностью и иметь малые габаритные размеры. Полупроводниковые дискретные элементы (диоды, триоды и т. д.) уже не удовлетворяют полностью этим требованиям. В настоящее время разработаны принципиально новые виды электронных схем — это пленочные и полупроводниковые интегральные микросхемы, способные полностью выполнять какую-либо функцию, для реализации которой раньше требовалось большое количество элементов. При этом каждый элемент интегральной микросхемы теряет свои индивидуальные функции и интегральная схема рассматривается как «функциональный» блок (например, усилитель постоянного тока).

1.2 Построение структурной схемы

Структурная схема для расчета надежности – это графическое отображение элементов системы, позволяющее однозначно определить состояние системы по состоянию ее элементов.

Составим структурную схему системы электроприводов станков с ЧПУ (рисунок 1.2):

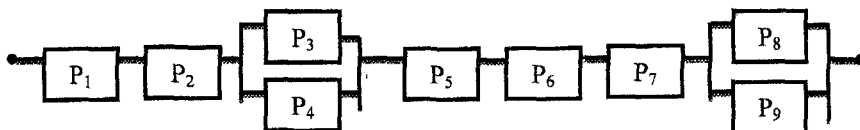


Рисунок 1.2 - Структурная схема электрооборудования станков с ЧПУ

где P_i – вероятность безотказной работы отдельных элементов системы.

Первый и второй элементы (электропривод главного движения $[P_1]$ и электроприводы подачи $[P_2]$) стоит соединить последовательно, т.к. отказ этих элементов вызовет отказ системы электроприводов станка.

Третий, четвертый, восьмой и девятый элементы системы (вспомогательные электроприводы $[P_3]$, датчики технологических параметров $[P_4]$, устройство электрической блокировки, диагностики и контроля $[P_8]$, пульт управления станком $[P_9]$) соединяем параллельно к схеме, т.к. отказ данной системы произойдет при отказе всех (или части) этих однотипных элементов.

Датчики обратных связей электроприводов $[P_5]$, электроавтоматика станка $[P_6]$, коммутирующая аппаратура $[P_7]$, также как и первые элементы, соединяются последовательно.

В структурной схеме системы электроприводов станка с ЧПУ преобладает последовательное соединение, в связи с этим, для обеспечения требуемой техническими условиями вероятности безотказной работы при увеличении числа последовательно соединенных элементов необходимо снижать величину интенсивности отказов каждого элемента или, что то же самое, принимать меры к увеличению их средней наработки на отказ.

1.3 Расчет надежности системы

Структурные методы являются основными методами расчета показателей надежности в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на элементы, характеристики надежности, которых в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами.

При последовательном соединении вероятность безотказной работы системы равна произведению вероятностей безотказной работы элементов.

$$P_s = \prod_{i=1}^N p_i \quad (1)$$

При параллельном соединении функция надежности участка логической схемы, состоящего из N надежных элементов, вычисляется по формуле:

$$P_p = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - p_i) \quad (2)$$

Расчет надежности системы, представленный в данной работе, мы проведем в приложении «*Mathcad 15*».

В первую очередь, введем значения вероятности безотказной работы каждого элемента системы в отдельности.

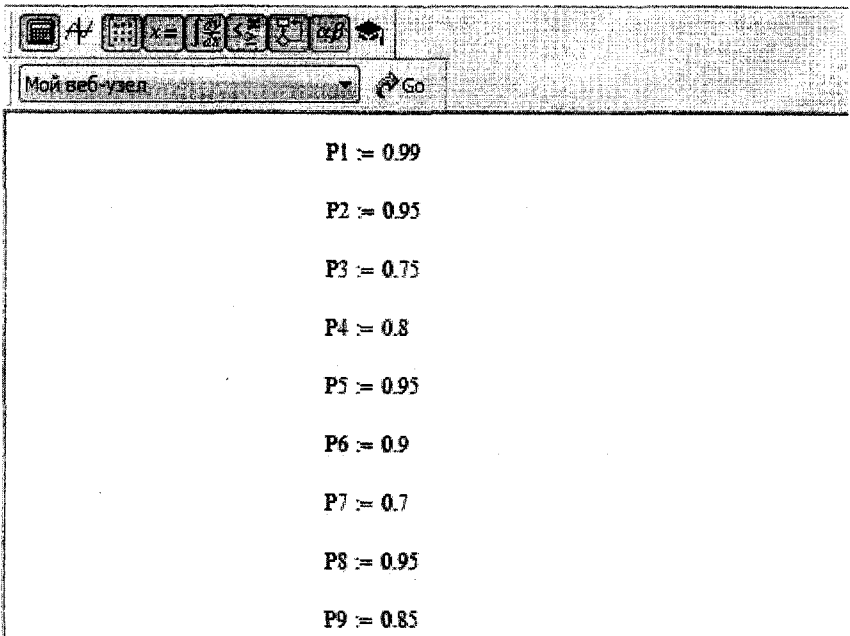


Рисунок 1.3 - Вероятности безотказной работы каждого элемента системы

Перед составлением формулы для расчета вероятности безотказной работы всей системы, мы произведем расчеты на участках с параллельным соединением. Для этого используем формулу (2) (рисунок 1.4).

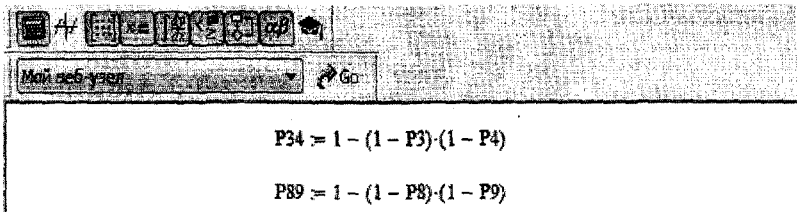


Рисунок 1.4 - Формулы расчета надежности на параллельных участках

На следующем скриншоте показаны результаты вычислений (рисунок 1.5).

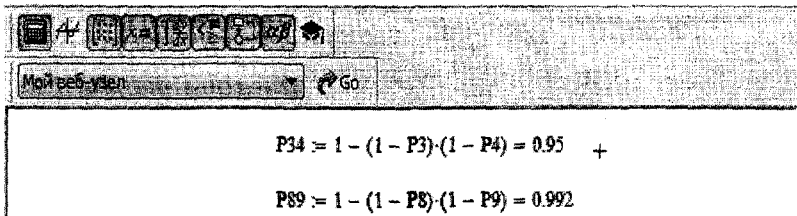


Рисунок 1.5 - Вероятность безотказной работы на парных участках системы.

Теперь у нас есть схема с последовательно подключенными элементами $[P_1, P_2, P_{34}, P_5, P_6, P_7, P_{89}]$. Расчет вероятности безотказной работы всей системы мы производим на основе формулы (1).

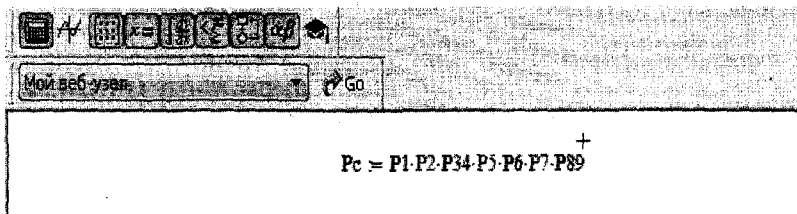


Рисунок 1.6 - Формула расчета вероятности безотказной работы всей системы

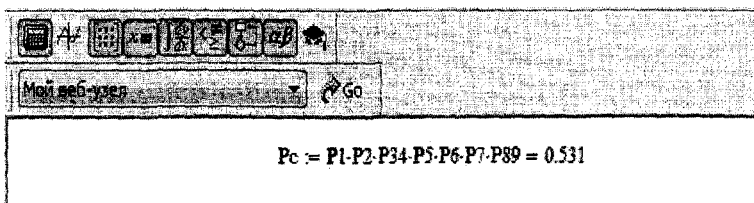


Рисунок 1.7- Результат расчета всей системы

На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность отказа системы Q_c .

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

$$P_c = 1 - Q_c \quad (3)$$

Следовательно, используя формулу (3), рассчитаем вероятность отказа системы (рисунок 1.8).

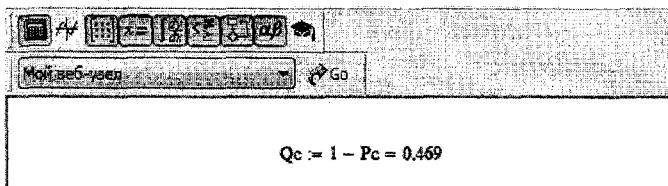


Рисунок 1.8 - Вероятность отказа системы

Полученные результаты расчета вероятности безотказной работы и отказа системы нужно умножить на 100%, чтобы получить процентное обозначение вероятностей. Эти расчеты производим в среде Mathcad.

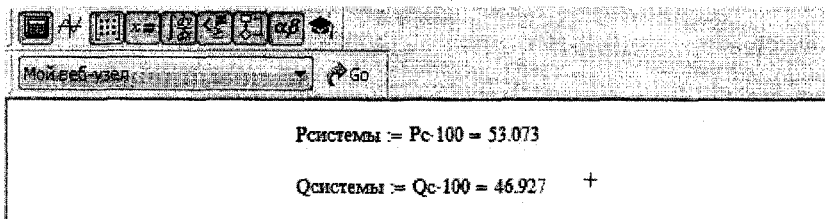


Рисунок 1.9 - Расчеты надежности системы

Задание к расчетно-графической работе.

Описать принцип действия прибора по функциональной схеме и составить структурную схему расчета надежности. Привести расчет надежности прибора или системы согласно варианту. Определить необходимость резервирования и пересчитать показатели надежности с учетом резерва.

Таблица 1.1 – Варианты задания

Варианты №.	Приборы, датчики, усилители, генераторы, системы
1	Генераторы высокой частоты
2	Генераторы импульсного U
3	Генераторы мощности

4	Генераторы низкой частоты
5	Генераторы синусоидального напряжения
6	Датчики давления
7	Датчики температуры
8	Датчики мощности
9	Датчики напряжения
10	Датчики положения
11	Датчики расхода
12	Датчики тока
13	Датчики уровня
14	Датчики ускорения
15	Системы генератор-двигатель
16	Системы пневмопривода
17	Системы электропривода конвейера
18	Системы электропривода координат робота
19	Системы электропривода морта
20	Системы электропривода подъемного крана
21	Системы электропривода станка УПУ
22	Системы электропривода токарного станка
23	Усилители тока
24	Усилители мощности
25	Усилители напряжения
26	Датчики давления
27	Генераторы низкой частоты
28	Генераторы синусоидального напряжения
29	Системы электропривода станка УПУ
30	Системы электропривода токарного станка
31	Усилители тока
32	Усилители мощности
33	Системы генератор-двигатель
34	Системы пневмопривода
35	Генераторы импульсного U
36	Генераторы мощности
37	Датчики напряжения
38	Датчики положения
39	Датчики расхода
40	Системы электропривода координат робота
41	Системы электропривода морта
42	Усилители напряжения
43	Системы электропривода подъемного крана
44	Датчики температуры
45	Датчики мощности
46	Генераторы высокой частоты
47	Системы электропривода конвейера
48	Датчики тока
49	Датчики уровня
50	Датчики ускорения

Таблица 1.2

Вариант	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀₍₁₁₎
1	0.2	0.1	0.7	0.8	0.8	0.85	0.9	0.7	0.7	0.65
2	0.76	0.3	0.4	0.9	0.6	0.5	0.7	0.8	0.9	
3	0.1	0.2	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.9		
4	0.4	0.3	0.65	0.8	0.9	0.9	0.5	0.6	0.85	
5	0.2	0.6	0.1	0.8	0.5	0.7	0.9	0.8	0.6	
6	0.3	0.85	0.4	0.6	0.7	0.6	0.9	0.8	0.7	
7	0.2	0.1	0.9	0.75	0.8	0.9	0.6	0.8	0.9	
8	0.4	0.7	0.3	0.4	0.75	0.85	0.95	0.8	0.7	
9	0.65	0.3	0.4	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9		
10	0.1	0.8	0.2	0.9	0.8	0.55	0.4	0.9	0.8	0.8
11	0.1	0.2	0.7	0.6	0.4	0.8	0.6	0.9	0.4	
12	0.4	0.3	0.8	0.6	0.5	0.45	0.55	0.85	0.9	0.8
13	0.85	0.3	0.4	0.7	0.6	0.8	0.6	0.55	0.75	
14	0.2	0.1	0.7	0.75	0.85	0.9	0.7	0.65	0.55	0.8
15	0.1	0.9	0.2	0.98	0.77	0.6	0.88	0.98	0.76	
16	0.1	0.2	0.76	0.67	0.45	0.54	0.89	0.87	0.7	0.8
17	0.3	0.4	0.9	0.85	0.76	0.85	0.7	0.96	0.56	0.7
18	0.1	0.67	0.2	0.9	0.86	0.78	0.7	0.6	0.7	
19	0.2	0.1	0.78	0.99	0.8	0.7	0.66	0.9	0.91	
20	0.65	0.3	0.4	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9		
21	0.1	0.8	0.2	0.9	0.8	0.55	0.4	0.9	0.8	0.8
22	0.1	0.2	0.7	0.6	0.4	0.8	0.6	0.9	0.4	
23	0.4	0.3	0.8	0.6	0.5	0.45	0.55	0.85	0.9	0.8
24	0.85	0.3	0.4	0.7	0.6	0.8	0.6	0.55	0.75	
25	0.2	0.1	0.7	0.75	0.85	0.9	0.7	0.65	0.55	0.8

2 Расчётно-графическая работа №2

2.1 Расчет вероятности безотказной работы

При расчете вероятности безотказной работы, средней наработки до первого отказа элементы системы рассматриваются как невосстанавливаемые. В этом случае при основном (последовательном) соединении элементов (рисунок 2.1) вероятность безотказной работы вычисляется как произведение вероятностей всех элементов:

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_{n-1}(t) P_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (2.1)$$



Рисунок 2.1 – Структурная схема расчета надежности, последовательное соединение элементов

При резервном (параллельном) соединении элементов (рисунок 2.2) и при условии, что для работы системы достаточно работы одного из включенных параллельно элементов, отказ системы является совместным событием, имеющим место при отказе всех параллельно включенных элементов. Если параллельно включено m элементов и вероятность отказа каждого, то вероятность отказа этой системы:

$$Q_c(t) = Q_1(t) Q_2(t) \dots Q_{m-1}(t) Q_m(t) = \prod_{j=1}^m q_j(t). \quad (2.2)$$

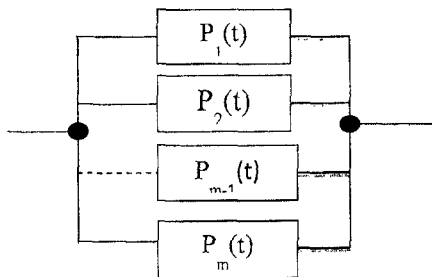


Рисунок 2.2 – Структурная схема расчета надежности, параллельное соединение элементов

Если структурная схема надежности состоит из последовательно-параллельного соединения, то расчет надежности использует формулы (2.1) и (2.2). Например, на рисунке 2.3 представлена схема, а уравнение 2.3 демонстрирует расчет функции надежности для этой схемы.

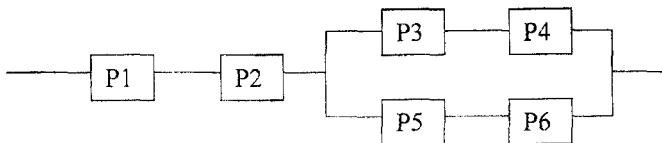


Рисунок 2.3 – Структурная схема расчета надежности, смешанное соединение элементов

$$P_c(t) = P_1(t)P_2(t)P_3P_4P_5P_6(t) = P_1(t)P_2(t)\{1-[1-P_3(t)P_4(t)][1-P_5(t)P_6(t)]\}. \quad (2.3)$$

Однако, не все структурные схемы расчета надежности могут быть сведены к последовательно-параллельному соединению. На рисунке 2.4 представлена одинарная мостиковая схема расчета надежности.

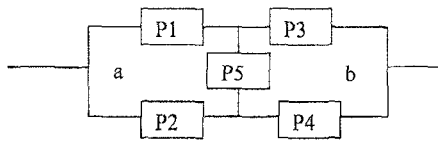


Рисунок 2.4 – Мостиковая схема соединения элементов

Для всех элементов схемы известны вероятности безотказной работы P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 и соответствующие им вероятности отказа типа «обрыв» q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 . Необходимо определить вероятность наличия цепи между точками а и b схемы 2.4.

2.2 Метод перебора состояний

Расчету надежности любой системы независимо от используемого метода предшествует определение двух непересекающихся множеств состояний элементов, соответствующих работоспособному и неработоспособному состояниям системы. Каждое из этих состояний характеризуется набором элементов, находящихся в работоспособном и неработоспособном состояниях.

Поскольку при независимых отказах вероятность каждого из состояний определяется произведением вероятностей нахождения элементов в соответствующих состояниях, то при числе состояний, равном m , вероятность работоспособного состояния системы определяется выражением:

$$P = \sum_{j=1}^m \prod_{l_j} p_{l_j} \prod_{k_j} q_{k_j}. \quad (2.4)$$

Вероятность отказа:

$$Q = 1 - \sum_{i=1}^m \prod_{l_j} p_{l_j} \prod_{k_j} q_{k_j}, \quad (2.5)$$

где m – общее число работоспособных состояний, в каждом j -м из которых число исправных элементов равно l_j , а вышедших из строя – k_j .

При сравнительно простой структуре системы применение метода перебора состояний сопряжено с громоздкими выкладками. Например, для схемы на рисунке 2.4 составим таблицу состояний, переводя сначала по одному, затем по два, по три элемента в неработоспособное состояние, сохраняя работоспособное состояние системы.

Таблица 2.1 – Состояние системы

№ состояния	Состояние элементов					Вероятность состояний
	1	2	3	4	5	
1	+	+	+	+	+	P_1, P_2, P_3, P_4, P_5
2	-	+	+	+	+	q_1, P_2, P_3, P_4, P_5 q_1, q_2, q_3, q_4, q_5

3	+	-	+	+	+	P1, q2,P3,P4,P5
4	+	+	-	+	+	P1,P2, q3,P4,P5
5	+	+	+	-	+	P1,P2,P3, q4,P5
6	+	+	+	+	-	P1,P2,P3,P4, q5
7	-	+	-	+	+	q1,P2, q3,P4,P5
8	-	+	+	-	+	q1,P2,P3, q4,P5
9	-	+	+	+	-	q1,P2,P3,P4, q5
10	+	-	-	+	+	P1, q2, q3,P4,P5
11	+	-	+	-	+	P1, q2,P3, q4,P5
12	+	-	+	+	-	P1, q2,P3,P4, q5
13	+	+	-	+	-	P1,P2, q3,P4, q5
14	+	+	+	-	-	P1,P2,P3,P4,P5
15	-	+	-	+	-	q1,P2, q3,P4, q5
16	+	-	+	-	-	P1, q2,P3, q4, q5

Если все элементы системы равно надежны, то вероятность безотказной работы системы при $p_i=0,9$:

$$P_c = \sum_{j=1}^{16} \prod_{l_j} p_l \prod_{k_j} q_k = p^5 + 5p^4q + 8p^3q^2 + 2p^2q^3 = 0,978.$$

2.3 Метод разложения относительно особого элемента

Этот метод основан на использовании формулы полной вероятности. В сложной системе выделяется особый элемент, все возможные состояния H_i которого, образуют полную группу, $\sum_{i=1}^n P\{H_i\} = 1$. Если анализируемое состояние системы A , то его вероятность безотказной работы:

$$P\{A\} = \sum_{i=1}^n P\{H_i\}P\{A/H_i\} = \sum_{i=1}^n P_i\{A\}. \quad (2.6)$$

где второй сомножитель определяет вероятность состояния A при условии, что особый элемент находится в состоянии H_i .

Рассмотрение H_i – го состояния особого элемента позволяет упростить структурную схему надежности системы и свести ее к последовательно-параллельному соединению элементов.

Так, в рассматриваемой мостиковой схеме выделение элемента 5 в качестве особого с двумя возможными состояниями (1 наличие и 2 отсутствие цепи) $P\{H1\}=p_5$; $P\{H2\}=q_5$ позволяет от структурной схемы, представленной на рисунке 2.4, перейти при безусловно исправном состоянии элемента 5 к схеме, представленной на рисунке 2.5,а. При отказе элемента 5 структурная схема имеет вид, представленный на рисунке 2.5,б.

Выделение особого элемента с последующим анализом упрощенных структурных схем существенно сокращает выкладки.

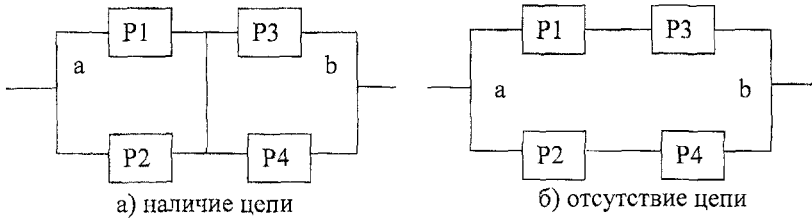


Рисунок 2.5 – Мостиковая схема

В соответствии с 2.3 имеем:

$$P_1\{A\}=p_3(1-q_1q_2)(1-q_3q_4)=0,882;$$

$$P_2\{A\}=q_5[1-(1-p_1p_3)(1-p_2p_4)]=0,0964;$$

$$P\{A\}=P_1\{A\}+P_2\{A\}=p_3(1-q_1q_2)(1-q_3q_4)+q_5(p_1p_3+p_2p_4-p_1p_2p_3p_4)=0,978.$$

2.4 Метод минимальных путей и сечений

В ряде случаев для анализа надежности сложной системы бывает достаточным определить граничные оценки надежности сверху и снизу.

При оценке вероятности безотказной работы сверху определяют минимальные наборы работоспособных элементов (путей), обеспечивающих работоспособное состояние системы.

При формировании пути, считаем, что все элементы находятся в неработоспособном состоянии, последовательным переводом элементов в работоспособное состояние производим подбор вариантов соединений элементов, обеспечивающих наличие цепи.

Набор элементов образует минимальный путь, если исключение любого элемента из набора приводит к отказу пути. Из этого вытекает, что в пределах одного пути элементы находятся в основном соединении, а сами пути включаются параллельно.

Для мостиковой схемы (рисунок 2.4) набор минимальных путей представлен на рисунке 2.6.

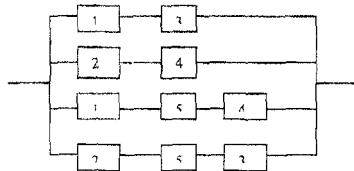


Рисунок 2.6- Набор минимальных путей

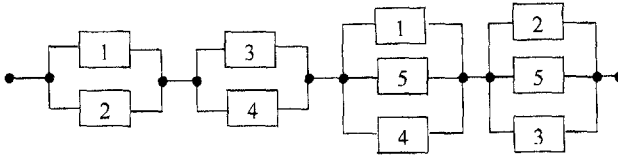


Рисунок 2.7- Набор минимальных сечений

Поскольку один и тот же элемент включается в два параллельных пути, то в результате расчета получается оценка безотказности сверху:

$$P_n = 1 - Q_{13}Q_{24}Q_{154}Q_{253} = 1 - (1 - p_1p_3)(1 - p_2p_4)(1 - p_1p_5p_4)(1 - p_2p_5p_3) = 0,997. \quad (2.4)$$

При определении минимальных сечений осуществляется подбор минимального числа элементов, перевод которых из работоспособного состояния в не работоспособное вызывает отказ всей системы.

При правильном подборе элементов сечения возвращение любого из элементов в работоспособное состояние восстанавливает работоспособное состояние системы.

Поскольку отказ каждого из сечений вызывает отказ системы, то первые соединяются последовательно. В пределах каждого сечения элементы соединяются параллельно, так как для работы системы достаточно наличия работоспособного состояния любого из элементов сечения.

Схема минимальных сечений для мостиковой схемы приведена на рисунке 2.7.

Поскольку один и тот же элемент включается в два сечения, то полученная оценка является оценкой снизу

$$P_n = p_{12}p_{34}p_{154}p_{253} \geq (1 - q_1q_2)(1 - q_3q_4)(1 - q_2q_5q_3) = 0,978. \quad (2.5)$$

В рассматриваемом примере оценка безопасности снизу совпадает с фактической безотказностью, рассчитанной по первым двум методам.

Таким образом, при составлении минимальных путей и сечений любая система преобразуется в структуру с параллельно - последовательным или последовательно - параллельным соединением элементов.

Задание к расчетно-графической работе.

Одним из методов рассчитать, а другим методом проверить вероятность отказа и безотказной работы системы, с заданными показателями надежности.

Таблица 2.2 – Задание по вариантам

№	1 – ый метод	2 – ой метод	3 – ий метод
1	Перебор состояний	Разложение относительно особого элемента	

2		Разложение особого элемента	относительно	Метод путей и сечений
3	Перебор состояний			Метод путей и сечений
4	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
5	Перебор состояний			Метод путей и сечений
6	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
7		Разложение особого элемента	относительно	Метод путей и сечений
8	Перебор состояний			Метод путей и сечений
9	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
10	Перебор состояний			Метод путей и сечений
11	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
12		Разложение особого элемента	относительно	Метод путей и сечений
13	Перебор состояний			Метод путей и сечений
14	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
15	Перебор состояний			Метод путей и сечений
16	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
17		Разложение особого элемента	относительно	Метод путей и сечений
18	Перебор состояний			Метод путей и сечений
19	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
20	Перебор состояний			Метод путей и сечений
21	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
22		Разложение особого элемента	относительно	Метод путей и сечений
23	Перебор состояний			Метод путей и сечений
24	Перебор состояний	Разложение особого элемента	относительно	
25	Перебор состояний			Метод путей и сечений

Таблица 2.3

Вариант	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	$P_{10(11)}$
1	0.2	0.1	0.7	0.8	0.8	0.85	0.9	0.7	0.7	0.65
2	0.76	0.3	0.4	0.9	0.6	0.5	0.7	0.8	0.9	
3	0.1	0.2	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.9		
4	0.4	0.3	0.65	0.8	0.9	0.9	0.5			
5	0.2	0.6	0.1	0.8	0.5	0.7	0.9	0.8	0.6	
6	0.3	0.85	0.4	0.6	0.7	0.6	0.9			
7	0.2	0.1	0.9	0.75	0.8	0.9	0.6	0.8	0.9	
8	0.4	0.7	0.3	0.4	0.75	0.85	0.95			

9	0.65	0.3	0.4	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9		
10	0.1	0.8	0.2	0.9	0.8	0.55	0.4	0.9		
11	0.1	0.2	0.7	0.6	0.4	0.8	0.6	0.9	0.4	
12	0.4	0.3	0.8	0.6	0.5	0.45	0.55	0.85		
13	0.85	0.3	0.4	0.7	0.6	0.8	0.6	0.55	0.75	
14	0.2	0.1	0.7	0.75	0.85	0.9	0.7	0.65		
15	0.1	0.9	0.2	0.98	0.77	0.6	0.88	0.98	0.76	
16	0.1	0.2	0.76	0.67	0.45	0.54	0.89	0.87		
17	0.3	0.4	0.9	0.85	0.76	0.85	0.7	0.96	0.56	0.7
18	0.1	0.67	0.2	0.9	0.86	0.78	0.7	0.6	0.7	0.6
19	0.2	0.1	0.78	0.99	0.8	0.7	0.66	0.9	0.91	
20	0.65	0.3	0.4	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9	0.8	
21	0.1	0.8	0.2	0.9	0.8	0.55	0.4	0.9	0.8	
22	0.1	0.2	0.7	0.6	0.4	0.8	0.6	0.9		
23	0.4	0.3	0.8	0.6	0.5	0.45	0.55	0.85	0.9	
24	0.85	0.3	0.4	0.7	0.6	0.8	0.6			
25	0.2	0.1	0.7	0.75	0.85	0.9	0.7	0.65	0.55	

Схема 1.

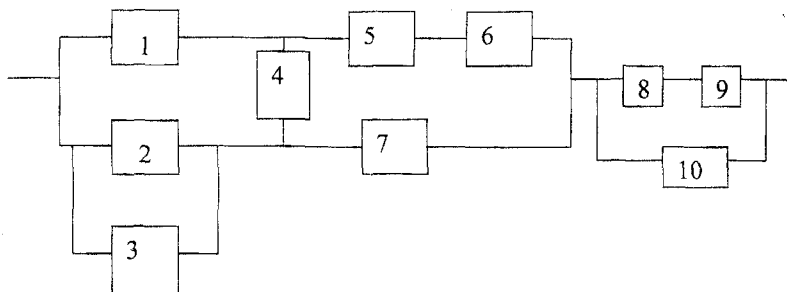
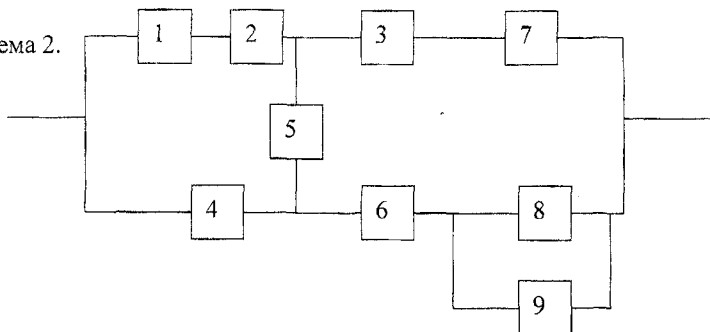


Схема 2.



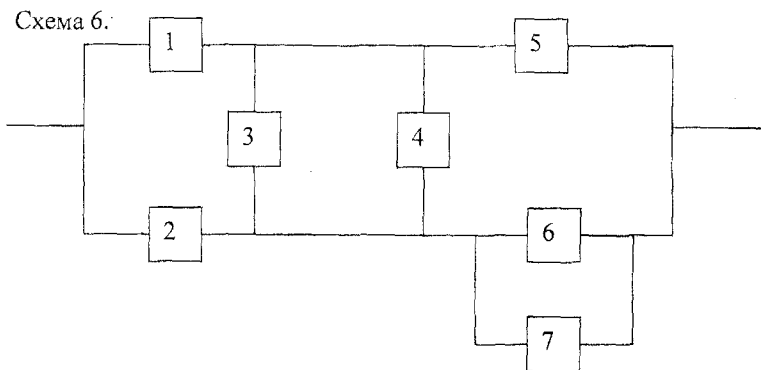
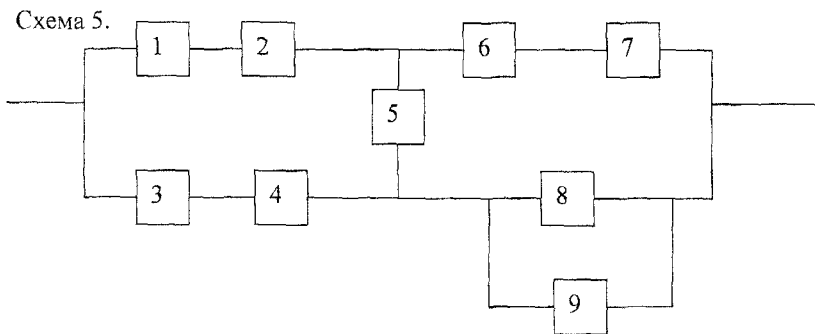
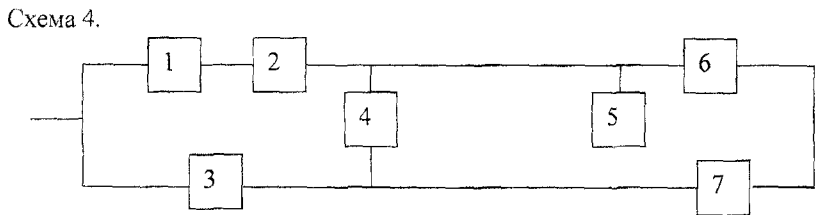
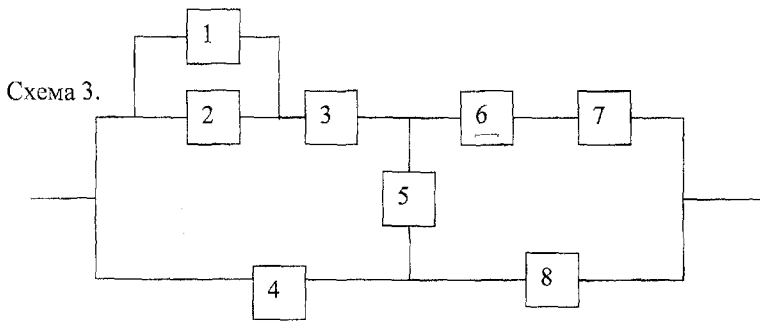


Схема 7.

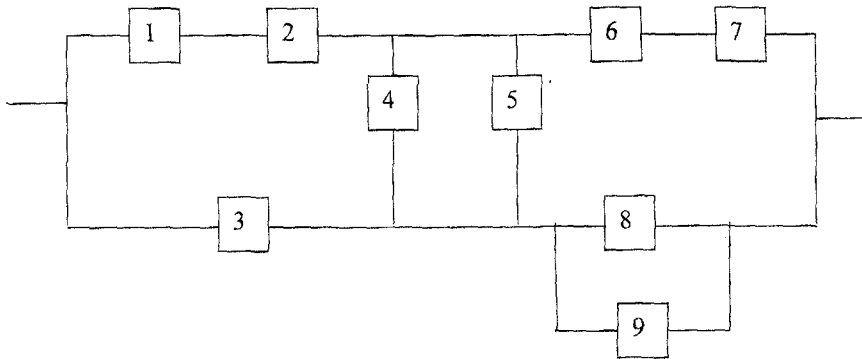


Схема 8.

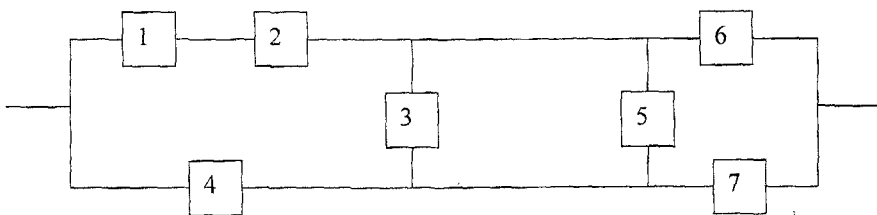


Схема 9.

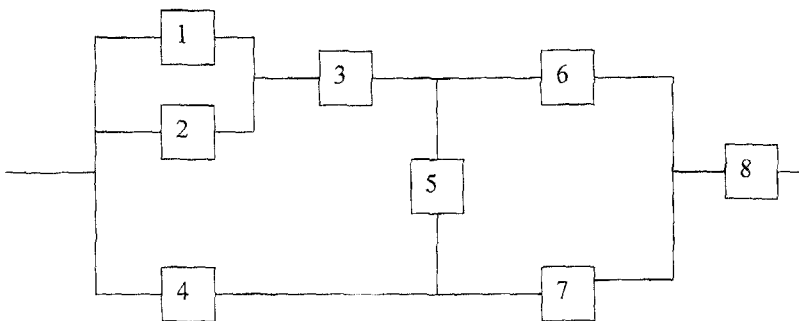


Схема 10.

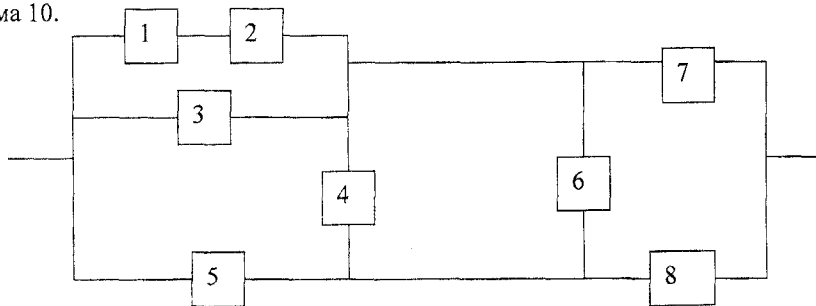


Схема 11.

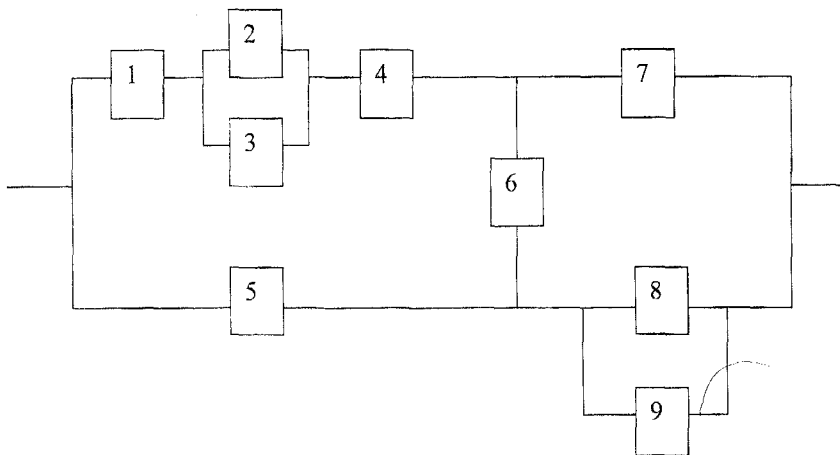


Схема 12.

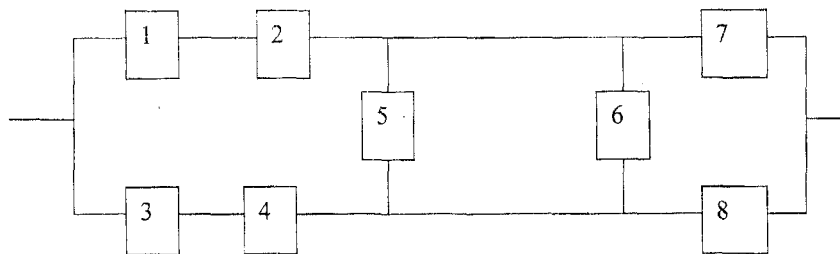


Схема 13.

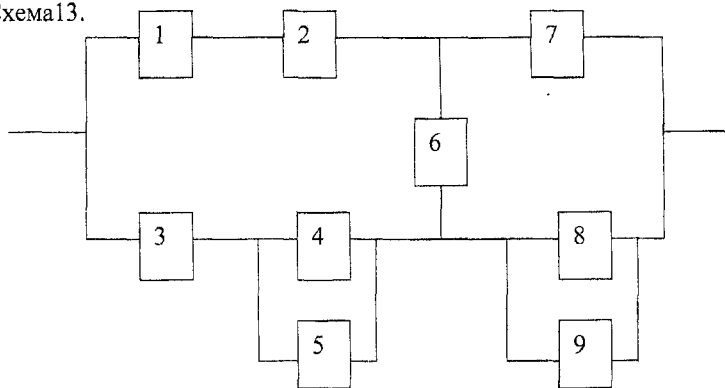


Схема 14.

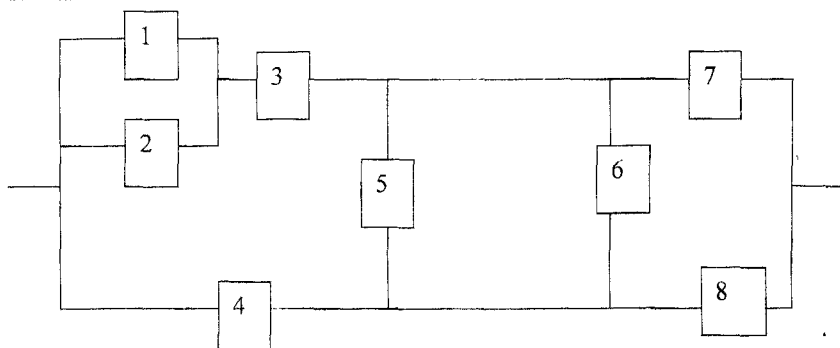


Схема 15.

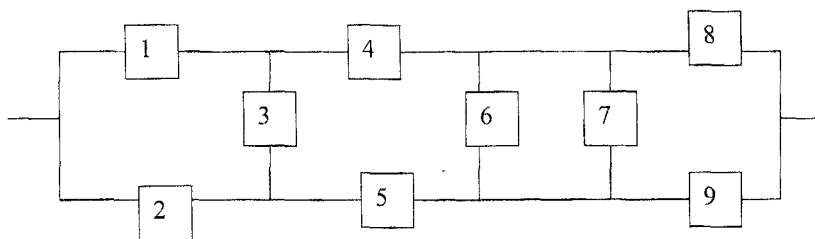


Схема 16.

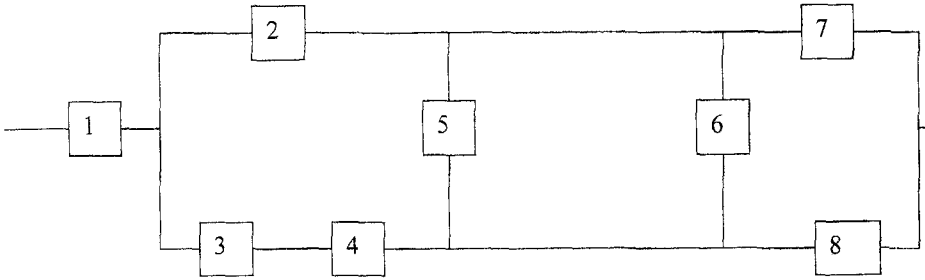


Схема 17.

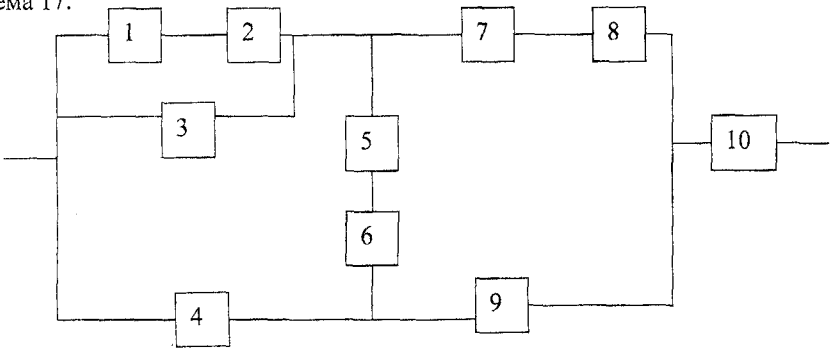


Схема 18.

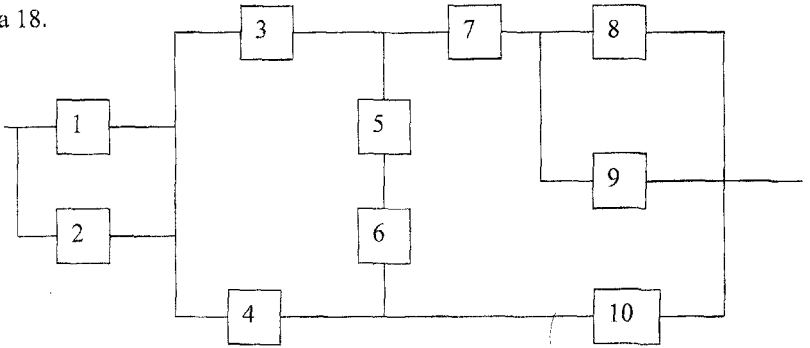


Схема 19.

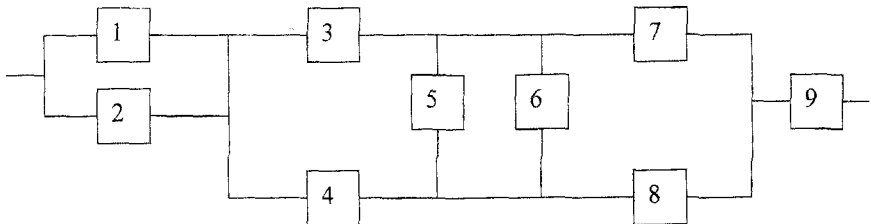


Схема 20.

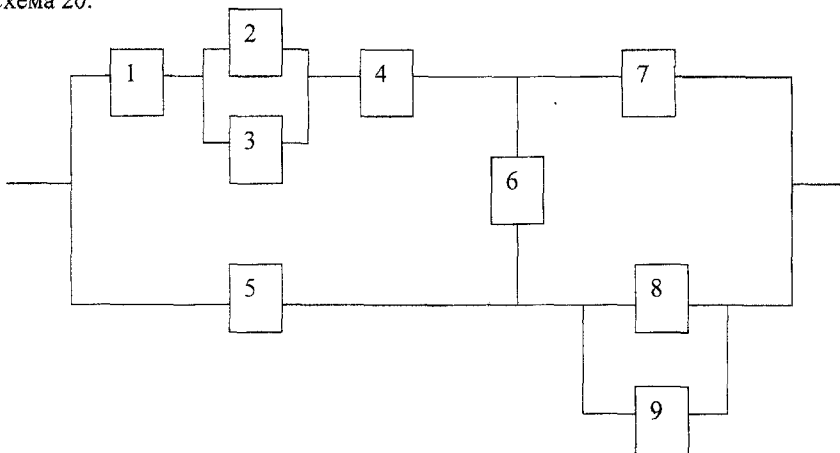


Схема 21.

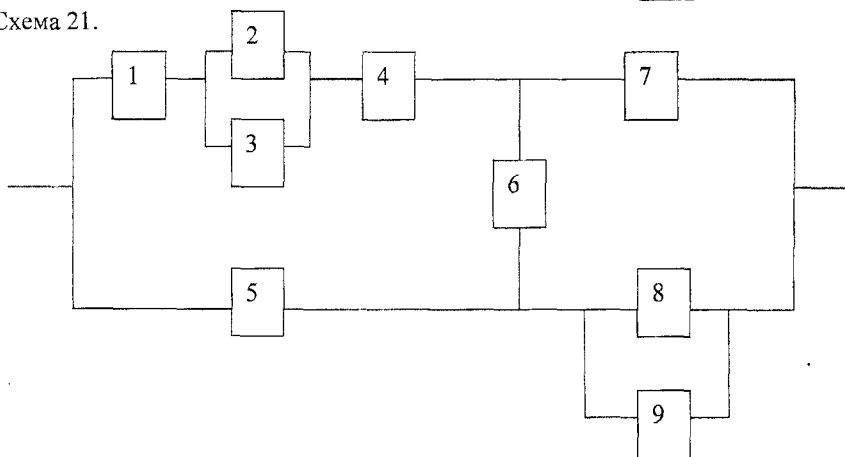


Схема 22.

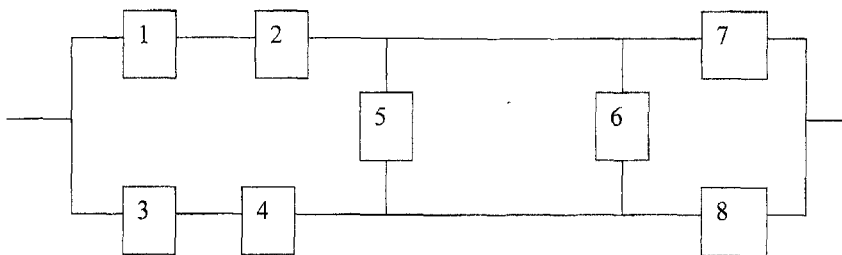


Схема 23.

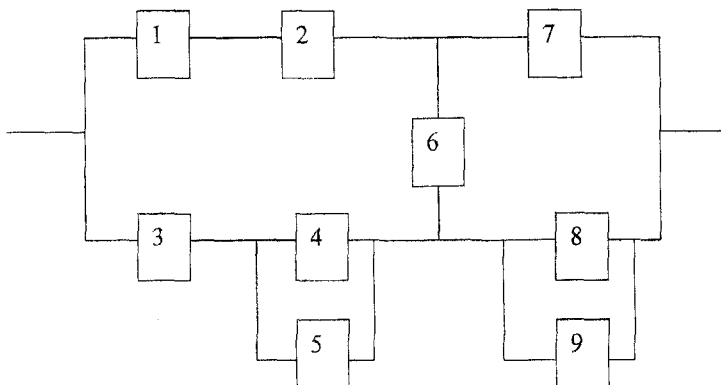


Схема 24.

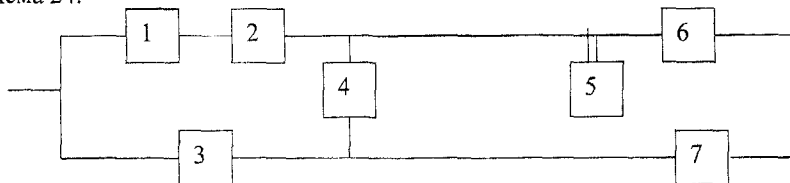
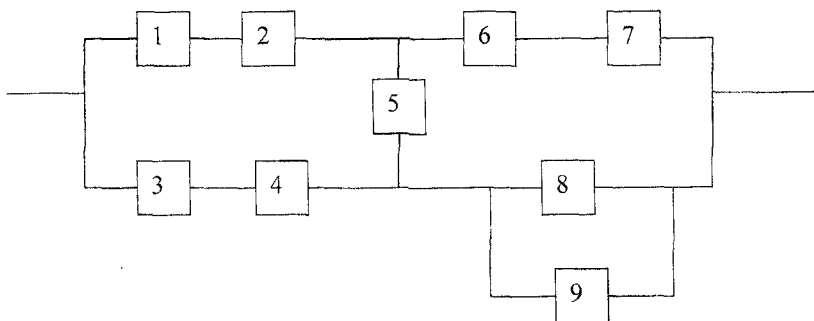


Схема 25.



3 Расчётно-графическая работа №3

При выборе показателей надежности следует иметь в виду, что эти показатели должны достаточно полно описывать надежность свойства системы, быть удобными для аналитического расчета и экспериментальной проверки по результатам испытаний, должны иметь разумный физический смысл и, наконец, допускать возможность перехода к показателям эффективности.

Для невозстанавливаемых систем можно ограничиться показателями безотказности. *Безотказность* невозстанавливаемых технических систем является наиболее важной компонентой надежности систем, так как она отражает их способность длительное время функционировать без отказов.

Эта способность системы в решающей степени влияет на ее эффективность и определяется количеством и безотказностью элементов, режимом их работы, наличием резервирования, параметрами окружающей среды (температура, влажность, атмосферное давление и т. д.).

Показатели безотказности описывают системы, в принципе подлежащие восстановлению после отказов, но поведение которых целесообразно рассматривать до момента первого отказа. К их числу, например, можно относить системы, чьи отказы чрезвычайно редки и вызывают особо тяжелые последствия.

Функция и плотность распределения наработки до отказа. Нароботка до отказа обозначается символом T , как и любая иная случайная величина, описывается *функцией распределения* $F(t)$, определяемой как вероятность P (вероятность безотказной работы) случайного события, заключающегося в том, что наработка до отказа T меньше некоторой заданной наработки t (время).

$$F(t) = P\{T < t\}. \quad (3.1)$$

Эта вероятность рассматривается как функция t во всем диапазоне возможных значений величины T .

Функция распределения любой случайной величины неубывающей функцией времени t . При величина $t \rightarrow \infty$ величина $F(t)$ стремится к единице.

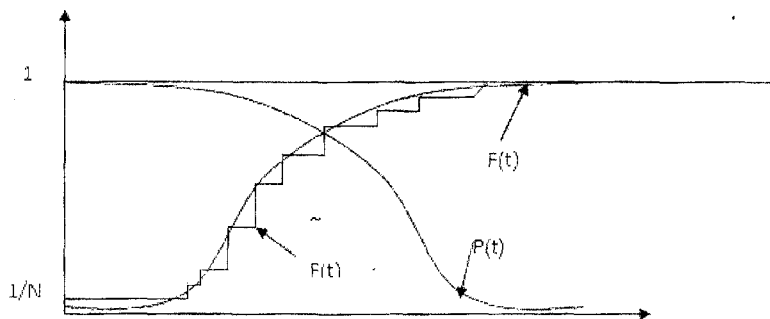


Рисунок 3.1 – Примерный вид функции распределения $F(t)$ и функции надежности $P(t)$

Кроме указанного (3.1) вероятностного определения функции $F(t)$, для всех показателей надежности можно привести и статистические определения, используемых при испытаниях на надежность. Статистические

определения позволяют более полно объяснять смысл вероятностных определений. Далее статистические определения будем обозначать волнистой чертой.

Для рассмотрения статистических определений показателей надежности невосстанавливаемых систем предположим, что на испытание поставлено одинаковых систем, условия испытаний одинаковы, а испытания каждой из систем производятся до ее отказа. Обозначим $N(t)$ число систем, отказавших к моменту времени t , т.е. на интервале $(0, t)$. Очевидно, что $N(0)=0$, а при $t \rightarrow \infty$ величина $N(t) \rightarrow N$.

Статистическим определением функции распределения $F(t)$ является функция:

$$\tilde{F}(t) = N(t)/N. \quad (3.2)$$

График статистической функции распределения $F(t)$ представляет собой ступенчатую линию со скачками кратными $1/N$ в моменты отказов (рисунок 3.2). С ростом количества испытуемых систем N статистическая функция распределения сравнивается с вероятностной.

Исправная работа технической системы и ее отказ в течение времени t являются несовместимыми противоположными событиями, поэтому введем еще одну функцию:

$$P(t) = P\{T > t\} = 1 - F(t), \quad (3.3)$$

которую называют *функцией надежности*. Так при $t=0$ система работоспособна, то $P(0)=1$. С увеличением времени монотонно убывает, а при величина $P(t) \rightarrow 0$. Примерный вид функции надежности приведен на рисунке 3.2.

Статистическое определение функции надежности:

$$\tilde{P}(t) = 1 - \tilde{F}(t) = [N - N(t)] / N, \quad (3.4)$$

где $N - N(t)$ – число систем работоспособных к моменту времени t . Функция распределения $F(t)$, как правило, непрерывна, и существует непрерывная *плотность распределения наработки до отказа*, вероятностное определение которой:

$$f(t) = dF(t)/dt. \quad (3.5)$$

Для статистического определения рассмотрим интервал времени $(t - \Delta t/2, t + \Delta t/2)$, где Δt – длина этого интервала. Тогда *статистическое определение плотности распределения*

$$\tilde{f}(t) = \frac{N(t+\Delta t/2) - N(t-\Delta t/2)}{N\Delta t} = \frac{N(t-\Delta t/2, t+\Delta t/2)}{N\Delta t}. \quad (3.6)$$

Если в формуле 2.1 и 2.2 зафиксировать время $= t1$, тогда вероятность отказа и безотказной работы имеет следующее вероятностное определение:

$$Q(t1) = F(t1) = P\{T < t1\};$$

$$P(t1) = P\{T > t1\}.$$

Статистическое определение :

$$\tilde{Q}(t1) = N(t1)/N;$$

$$\tilde{P}(t1) = \tilde{1} - \tilde{Q}(t1) = [N - N(t1)] / N.$$

Для решения различных задач в качестве показателя надежности используется вероятность безотказной работы $P(t1, t2)$ системы на интервале $(t1, t2)$ при условии, что система безотказно проработала до момента $t1$. Вероятность события АВ – безотказной работы на интервале $(0, t2)$ будет:

$$P\{AB\} = P\{A\}P\{B/A\}.$$

Отсюда

$$P(t1, t2) = P\{B/A\} = P\{AB\}/P\{A\} = P(t2)/P(t1). \quad (3.7)$$

При описании надежности невосстанавливаемых систем широкое применение получила такая характеристика, как интенсивность отказов.

Интенсивность отказов – определяется как условная плотность вероятности отказа системы в момент времени t при условии, что до этого момента не возникали.

Выражает собой отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу объектов, исправно работающих в данный отрезок времени при условии, что отказавшие объекты не восстанавливаются и не заменяются исправными. Условная вероятность безотказной работы системы на интервале при условии, что система работоспособна в момент времени, определяется выражением (3.7).

$$P(t, t+\Delta t) = 1 - P(t+\Delta t)/P(t) = -[P(t+\Delta t) - P(t)]/P(t).$$

Устремив время к нулю, получим вероятностное значение интенсивности отказов:

$$\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1 - P(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{dP(t)}{dt} \times \frac{1}{P(t)}, \quad (3.8)$$

Статистическое определение интенсивности отказов:

$$\lambda = \frac{\overline{f(t)}}{\overline{P(t)}} = \frac{N(t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2})}{\Delta t (N - N(t))}, \quad (3.9)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ дает наглядную картину изменения безотказности. Типичная зависимость во времени дана на рисунке 3.3. В период приработки выявляются скрытые дефекты изготовления отдельных элементов системы, недостатки монтажа, наладки, нарушения, произошедшие в результате транспортировки. Период эксплуатации характеризуется относительно постоянным показателем интенсивности отказов. В период старения системы из-за износа отдельных элементов и изменения их характеристик интенсивность отказов возрастает.

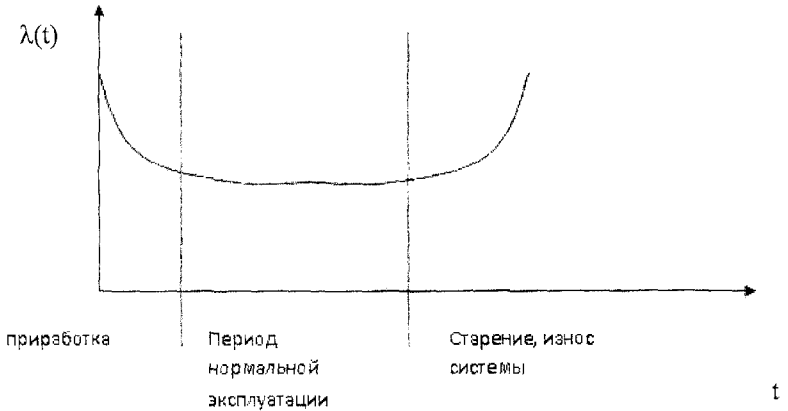


Рисунок 3.2 – Типичный график изменения интенсивности отказов

Для решения значительного числа задач надежности технических систем достаточно знать только показатели, являющиеся числовыми характеристиками этой случайной величины. К ним относится в первую очередь *средняя наработка до отказа* (среднее время безотказной работы системы) – математическое ожидание ($M[T]$) случайной величины T – наработки системы (объектов) до первого отказа.

$$\tau = M[T] = \int_0^{\infty} t f(t) dt; \quad (3.10)$$

$$\tau = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (3.11)$$

Из уравнения (3.11) следует, средняя наработка до отказа геометрически равна площади под кривой $P(t)$ (рисунок 3.1). Статистическое определение наработки до отказа:

$$\tilde{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}. \quad (3.12)$$

Показатель T важен в первую очередь для сложных систем с большим числом элементов.

Дисперсия и среднее квадратическое отклонение наработки до отказа:

$$D[T] = M[(t - \tau)^2] = \int_0^{\infty} (t - \tau)^2 f(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 f(t) dt - \tau^2;$$

$$\sigma[T] = \sqrt{D[T]};$$

$$\overline{D}[T] = \sum_{i=1}^N [(t_i - \tilde{\tau})^2 / (N - 1)];$$

$$\tilde{\sigma}[T] = \sqrt{\overline{D}[T]}.$$

Рассмотренные показатели применяются как при создании системы, так и при ее эксплуатации.

С помощью выбранного метода, исходя из структурной схемы системы, определяют аналитические модели, связывающие ее показатели с характеристиками элементов и процессов их обслуживания.

Подбор характеристик надежности элементов структурной схемы сопряжен с трудностями, определяемыми рядом факторов. К их числу относится зависимость показателей надежности от условий эксплуатации, которые могут существенно различаться на разных видах производств, поэтому паспортные данные по надежности могут не совпадать с их фактическими значениями.

Используя показатели надежности элементов невосстанавливаемых систем, по полученным математическим моделям производят расчет показателей надежности, который может быть выполнен с использованием соответствующих пакетов прикладных программ.

3.1 Экспоненциальное распределение

Непрерывная случайная величина – наработка системы до отказа может описаться различными законами распределения в зависимости от свойств системы и ее элементов, условий работы, характера отказов и множества других факторов.

Наибольшее распространение получило экспоненциальное (показательное) распределение, при котором функция распределения наработки до отказа.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (3.13)$$

где λ - интенсивность отказов параметр этого распределения

Функция $F(t)$, как правило, непрерывна, соответствующая плотность распределения:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (3.14)$$

События, заключающиеся в наступлении или не наступлении отказа к моменту времени t , являются противоположными. $P(t)$ – вероятность безотказной работы. Если при $t=0$ система работоспособна, то $P(0) = 1$.

С увеличением времени t , $P(t)$ будет монотонно убывать и приблизится к $P(t)=0$, поэтому:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (3.15)$$

Вероятность отказа является обратной величиной вероятности безотказной работы системы, т.е.:

$$Q(t) = 1 - P(t); \quad (3.16)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (3.17)$$

При $\lambda t \ll 1$, то есть при времени t , *намного меньшем* средней наработки до отказа $\tau = 1/\lambda$ выражение (3.14) можно упростить, заменив двумя первыми членами разложения в степенной ряд. Тогда, например, выражение (3.14) примет вид:

$$P(t) = 1 - \lambda t = 1 - t/\tau, \quad (3.18)$$

где τ - средняя наработка до отказа. Полученная при этом погрешность не превышает $0.5(\lambda t)^2$.

Экспоненциальному распределению присуще одно характерное свойство: вероятность безотказной работы $P(t_1, t_2)$ в интервале (t_1, t_2) при

условии, что в момент t_1 система работоспособна, вероятность $P(t)$ зависит только от длины интервала $(t_1 - t_2)$ и не зависит от времени t_1 предшествующей работы системы, т.е. от ее «возраста». Средняя наработка до отказа, дисперсия и интенсивность отказов согласно их определениям:

$$\tau = 1/\lambda; \quad (3.19)$$

$$D[T] = 1/\lambda^2; \quad (3.20)$$

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \lambda. \quad (3.21)$$

Так как для экспоненциального закона характерно постоянство интенсивности отказов $\lambda = \text{const}$, то область применения этого закона – системы и элементы, где можно не учитывать ни период приработки, ни участок старения и износа (многие средства вычислительной техники, приборостроения, элементы и системы регулирования). Экспоненциальное распределение хорошо описывает время безотказной работы сложных систем, состоящих из множества компонентов, поэтому расчеты надежности при применении этого распределения наиболее просты.

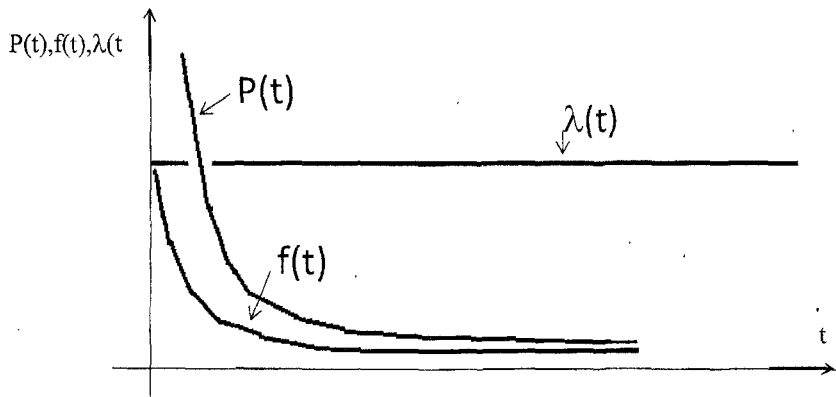


Рисунок 3.3 – Графики изменения показателей надежности при экспоненциальном распределении

3.2 Нормальное распределение

В отличие от экспоненциального распределения нормальное используется для описания таких систем и особенно их элементов, которые подвержены действию износа. При этом обязательно учитывается функция и плотность распределения наработки до отказа T , τ – средняя наработка до отказа.

Параметрами нормального распределения являются: m – математическое ожидание случайной величины, T – наработки до отказа (или

времени безотказной работы); σ – среднее квадратическое отклонение наработки до отказа T по результатам испытаний систем.

Нормальное распределение описывает поведение случайных величин в диапазоне $(-\infty, \infty)$, но т.к. наработка до отказа является не отрицательной величиной, чтобы это учесть, то вместо нормального в принципе должно использоваться усеченное нормальное распределение.

Область возможных значений случайной величины может быть от 0 до ∞ (0 при $t=0$). Усеченное нормальное распределение применяют, если $m < 3\sigma$, в противном случае использование более простого нормального (не усеченного) распределения дает достаточную точность.

Показатели надежности нормального распределения:

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx;$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} ;$$

$$\tau = m; D[T] = \sigma^2.$$

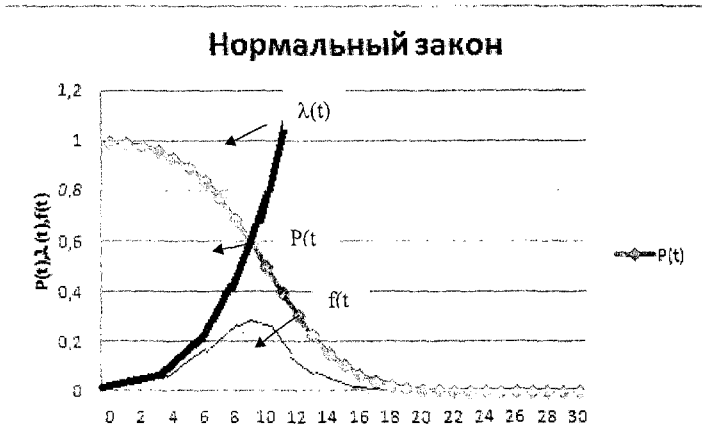


Рисунок 3.4 - Графики изменения показателей надежности при нормальном распределении

3.3 Распределение Вейбулла – Гнеденко

В теории надежности получило применение распределение Вейбулла – Гнеденко, описываемое функцией и плотностью распределения соответственно:

$$\begin{aligned} F(t) &= 1 - e^{-at^k}; \\ f(t) &= akt^{k-1} e^{-at^k}. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Это двухпараметрическое распределение, где параметр k определяет вид плотности распределения отказов, параметр a – его масштаб. Так, при $k=1$ распределение Вейбулла–Гнеденко совпадает с экспоненциальным, когда интенсивность отказов постоянна. При $k > 1$ интенсивность отказов монотонно возрастает. При $k < 1$ монотонно убывает (рисунок 3.5).

Распределение Вейбулла–Гнеденко может быть применено для описания наработки до отказа электронных и механических технических средств, включая период приработки.

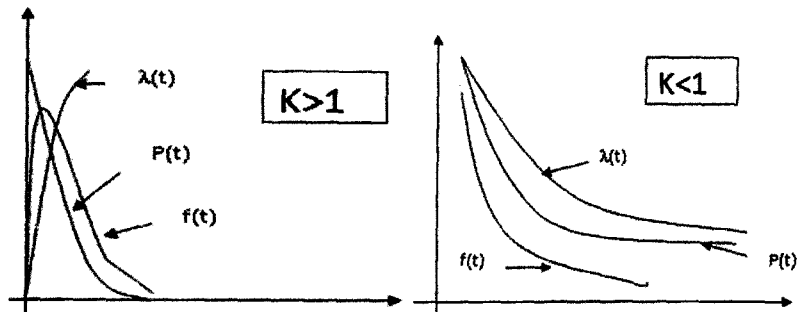


Рисунок 3.5 - Графики изменения показателей надежности при распределении Вейбулла – Гнеденко

Задание к расчетно-графической работе.

На испытание поставлено 100 элементов. Рассчитать все статистические показатели, построить графики изменения $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ и выбрать подходящий закон распределения, рассчитать показатели закона распределения, сравнить ее с статистическими и оценить адекватность выбранного закона распределения.

Таблица 3.1 – Задание по вариантам

1		2		3		4		5		6		7		8	
t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	26	1	10	1	14	1	18	1	22	1	33	1	36	1	24
2	45	2	18	2	26	2	33	2	39	2	55	2	59	2	43
3	59	3	26	3	36	3	45	3	53	3	70	3	74	3	57

4	70	4	33	4	45	4	55	4	63	4	80	4	83	4	67
5	78	5	39	5	53	5	63	5	71	5	86	5	89	5	75
6	83	6	45	6	59	6	70	6	78	6	91	6	93	6	81
7	88	7	50	7	65	7	75	7	83	7	94	7	96	7	86
8	91	8	55	8	70	8	80	8	86	8	96	8	97	8	89
9	93	9	59	9	74	9	83	9	89	9	97	9	98	9	92
10	95	10	63	10	78	10	86	10	92	10	98	10	99	10	94
11	96	11	67	11	81	11	89	11	94	11	99	11	99	11	95
12	97	12	70	12	83	12	91	12	95	12	99	12	100	12	97
13	98	13	73	13	86	13	93	13	96	13	99	13	100	13	97
14	99	14	75	14	88	14	94	14	97	14	100			14	98
15	99	15	78	15	89	15	95	15	98					15	99
16	99	16	80	16	91	16	96	16	98					16	99
17	99	17	82	17	92	17	97	17	99					17	99
18	100	18	83	18	93	18	97	18	99					18	99
		19	85	19	94	19	98	19	99					19	100
		20	86	20	95	20	98	20	99					20	100
		21	88	21	96	21	99	21	99						
		22	89	22	96	22	99	22	100						
		23	90	23	97	23	99								
		24	91	24	97	24	99								
		25	92	25	98	25	99								
		26	93	26	98	26	99								
		27	93	27	98	27	100								
		28	94	28	99										
		29	94	29	99										
		30	95	30	99										
		31	95	31	99										
		32	96	32	99										
		33	96	33	99										
		34	97	34	99										

9		10		11		12		13		14		15		16	
t	N(t)	t	N(t)	t	N(t)	t	N(t)	t	N(t)	t	N(t)	t	0	t	N(t)
1	58	1	51	1	6	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	63	2	63	2	13	2	0	2	0	2	1	2	0	2	0
3	66	3	71	3	21	3	1	3	1	3	3	3	0	3	0
4	68	4	76	4	28	4	3	4	1	4	5	4	0	4	1
5	70	5	79	5	35	5	7	5	3	5	9	5	0	5	1
6	71	6	82	6	42	6	13	6	5	6	12	6	0	6	2
7	72	7	85	7	48	7	23	7	8	7	17	7	0	7	3
8	73	8	86	8	53	8	35	8	13	8	22	8	0	8	5
9	74	9	88	9	59	9	49	9	18	9	28	9	1	9	7
10	75	10	89	10	63	10	63	10	24	10	34	10	1	10	10
11	75	11	90	11	67	11	76	11	31	11	40	11	2	11	14
12	76	12	91	12	71	12	86	12	39	12	46	12	3	12	18
13	77	13	92	13	75	13	93	13	47	13	52	13	5	13	22
14	77	14	93	14	78	14	97	14	55	14	58	14	7	14	27
15	78	15	94	15	80	15	99	15	63	15	63	15	9	15	33
16	78	16	94	16	83	16	100	16	71	16	68	16	13	16	39

17	78	17	95	17	85			17	78	17	73	17	17	17	45
18	79	18	95	18	87			18	83	18	78	18	21	18	51
19	79	19	95	19	88			19	88	19	81	19	27	19	57
20	80	20	96	20	90			20	92	20	85	20	33	20	63
21	80	21	96	21	91			21	95	21	88	21	40	21	69
22	80	22	96	22	92			22	97	22	90	22	48	22	74
23	80	23	97	23	93			23	98	23	92	23	55	23	79
24	81	24	97	24	94			24	99	24	94	24	63	24	83
25	81	25	97	25	95			25	99	25	95	25	71	25	87
26	81	26	97	26	96			26	100	26	97	26	78	26	90
27	81	27	97	27	96			27	100	27	97	27	84	27	93
28	82	28	98	28	97			28	100	28	98	28	89	28	95

17		18		19		20		21		22		23		24	
t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N	t	N
1	46	1	40	1	48	1	35	1	42	1	41	1	44	1	40
2	50	2	45	2	49	2	36	2	44	2	42	2	46	2	41
3	54	3	50	3	51	3	37	3	46	3	43	3	47	3	42
4	58	4	55	4	52	4	38	4	48	4	45	4	48	4	43
5	62	5	60	5	54	5	39	5	50	5	46	5	49	5	44
6	66	6	65	6	56	6	40	6	52	6	47	6	50	6	46
7	69	7	69	7	57	7	41	7	54	7	49	7	51	7	47
8	73	8	73	8	59	8	42	8	56	8	50	8	52	8	48
9	76	9	77	9	60	9	43	9	58	9	51	9	53	9	49
10	79	10	81	10	62	10	44	10	60	10	53	10	55	10	50
11	82	11	84	11	63	11	46	11	62	11	54	11	56	11	51
12	84	12	87	12	65	12	47	12	64	12	55	12	57	12	52
13	86	13	89	13	66	13	48	13	66	13	57	13	58	13	53
14	89	14	92	14	68	14	49	14	67	14	58	14	59	14	55
15	90	15	93	15	69	15	50	15	69	15	59	15	60	15	56
16	92	16	95	16	71	16	51	16	71	16	61	16	61	16	57
17	93	17	96	17	72	17	52	17	73	17	62	17	62	17	58
18	95	18	97	18	73	18	53	18	74	18	63	18	63	18	59
19	96	19	98	19	75	19	55	19	76	19	64	19	65	19	60
20	96	20	98	20	76	20	56	20	77	20	66	20	66	20	61
21	97	21	99	21	77	21	57	21	79	21	67	21	67	21	62
22	98	22	99	22	78	22	58	22	80	22	68	22	68	22	63
23	98	23	99	23	79	23	59	23	82	23	69	23	69	23	65
24	99	24	100	24	81	24	60	24	83	24	70	24	70	24	66
25	99	25	100	25	82	25	61	25	84	25	72	25	71	25	67
26	99	26	100	26	83	26	62	26	85	26	73	26	72	26	68
27	99	27	100	27	84	27	63	27	86	27	74	27	73	27	69
28	100	28	100	28	85	28	65	28	88	28	75	28	74	28	70

Список литературы

- 1 Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем. - М.: «Академия», 2010 г.
- 2 Григорьян С.Г. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники.- Ростов-на-Дону, 2007.
- 3 Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. -Москва.2008.
- 4 Малафеев С.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи. – ПСб.: «Лань», 2012 г.
- 5 Бычков А.А. Надежность приборов и систем. – Учебное пособие. – Ростов на Дану ., 2008.- 84с.

Содержание

1 Расчетно-графическая работа №1	3
2 Расчетно-графическая работа №2	10
3 Расчетно-графическая работа №3	24
Список литературы	36

Ақполпан Ауелбековна Копесбаева
Еркебұлан Саметұлы Нұрғизат

НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности 5В071600 - Приборостроение

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К.Молдабекова

Подписано в печать 10.10.17
Тираж 50 экз.
Объем 2,3 уч.-изд.л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ 316 цена 1065 тн.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126