

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Факультет безопасности информационных технологий**

**Дисциплина:**

**«Основы теории надежности»**

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

**«Вычисление показателей надежности для резервированных систем»**

**Выполнили:**

Чу Ван Доан, студентк группы N3347



---

(подпись)

**Проверил:**

Мухамеджанов Санжар

---

(отметка о выполнении)

---

(подпись)

Санкт-Петербург  
2025г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	2
Введение.....	3
1. ХОД РАБОТЫ.....	4
1.1 Задание 1.....	4
1.2 Задание 2.....	5
1.3 Задание 3.....	6
1.4 Задание 4.....	9
1.5 Задание 5.....	11
Заключение.....	14

## **ВВЕДЕНИЕ**

Цель работы – Изучение способов и видов резервирования, освоение методов определения параметров надежности для объектов со сложной структурной схемой..

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить необходимые методы;
- применить полученные знания для решения типовых задач;
- подвести итог и подготовить отчёт о проделанной работе.

## 1. ХОД РАБОТЫ

Вариант: 16

### 1.1 Задание 1

Для смешанной схемы (рис. 1) соединений элементов необходимо рассчитать вероятность безотказной работы, если известны  $p_i(t)$ . Воспользуйтесь методом свертки, или любым другим известным вам методом. Числовые значения  $p_i(t)$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров для выбранного варианта

$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$	$p_5(t)$
0,91	0,92	0,98	0,81	0,85

Использовались следующие формулы:

- последовательное соединение:  $P_{\text{общ}}(t) = \prod p_i(t)$ ;
- параллельное соединение:  $P_{\text{общ}}(t) = 1 - \prod q_i(t) = 1 - \prod (1 - p_i(t))$

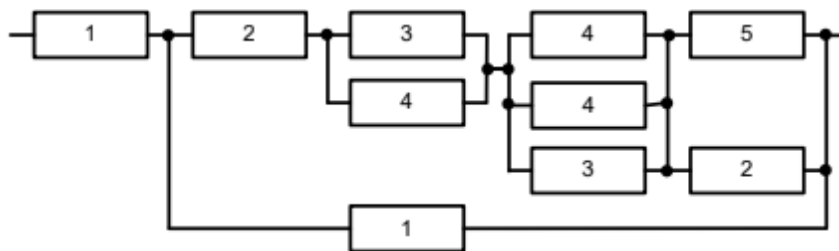


Рисунок 1 – Смешанная схема

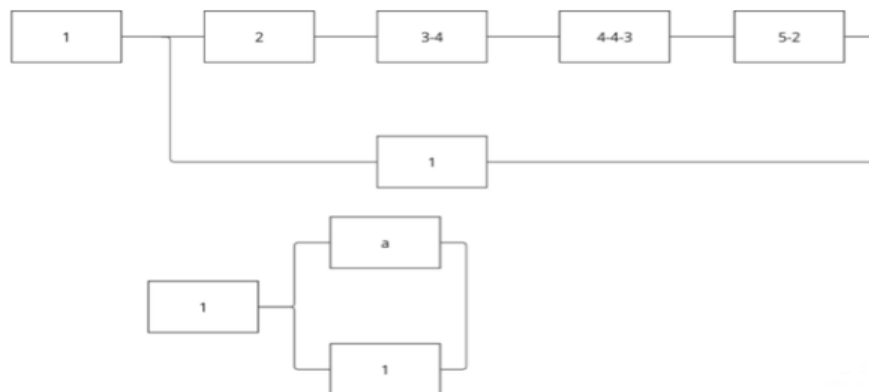


Рисунок 2 – Первое и второе преобразование четвертой схемы

$$a = p_2 * p_{3-4} * p_{4-4-3} * p_{5-2}$$

$$P_{\text{общ}}(t) = p_1 * [1 - (1 - p_1)(1 - p_2 * (1 - (1 - p_3)(1 - p_4))(1 - (1 - p_4)^2 * (1 - p_3)) * (1 - (1 - p_5)(1 - p_2)))]$$

Подставив значения из таблицы, можно получить общую вероятность безотказной работы, равную 0.9022 или 90.22%.

## 1.2 Задание 2

Для заданной схемы (рис. 3) соединений элементов необходимо рассчитать вероятность безотказной работы, если известны  $p_i(t)$ . Воспользуйтесь методами минимальных путей и минимальных сечений. Сравните результаты расчетов. Числовые значения  $p_i(t)$  представлены в таблице 2.

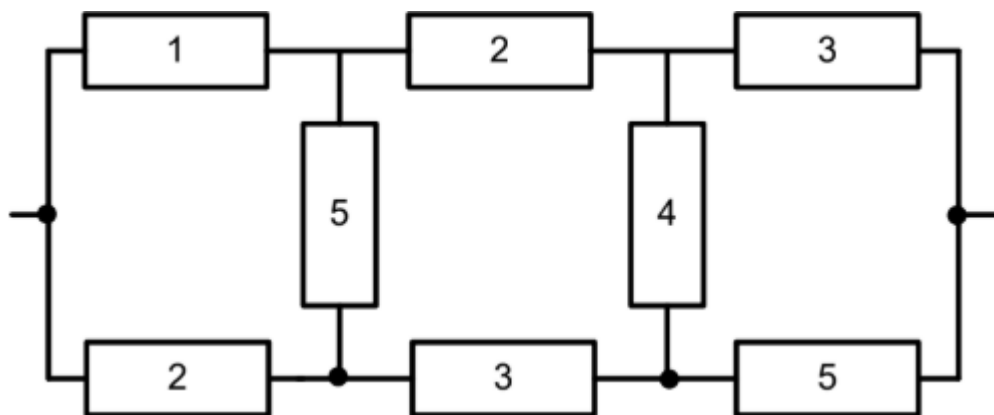


Рисунок 3 – Схема

Таблица 2 – Значения второго задания

$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$	$p_5(t)$
0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
$q_1(t)$	$q_2(t)$	$q_3(t)$	$q_4(t)$	$q_5(t)$
0,08	0,13	0,16	0,18	0,19

Воспользуемся метод минимальных путей. Всего имеется 8 различных путей.

Посчитаем для них вероятность отказа.

$$q_{1-2-3}(t) = 1 - p_1 * p_2 * p_3 = 1 - 0.92 * 0.87 * 0.84 = 0.3288$$

$$q_{2-3-5}(t) = 1 - p_2 * p_3 * p_5 = 1 - 0.87 * 0.84 * 0.81 = 0.4083$$

$$q_{1-2-4-5}(t) = 1 - p_1 * p_2 * p_4 * p_5 = 1 - 0.92 * 0.87 * 0.82 * 0.81 = 0.4718$$

$$q_{2-3-4-3}(t) = 1 - p_2 * p_3 * p_4 * p_3 = 1 - 0.87 * 0.84 * 0.82 * 0.84 = 0.4968$$

$$q_{1-5-3-5}(t) = 1 - p_1 * p_5 * p_3 * p_5 = 1 - 0.92 * 0.81 * 0.84 * 0.81 = 0.4979$$

$$q_{1-2-3-4-3}(t) = 1 - p_1 * p_2 * p_3 * p_4 * p_3 = 1 - 0.92 * 0.87 * 0.84 * 0.82 * 0.84 = 0.4479$$

$$q_{2-5-2-3}(t) = 1 - p_2 * p_5 * p_2 * p_3 = 1 - 0.87 * 0.81 * 0.87 * 0.84 = 0.4864$$

$$q_{2-5-2-4-5}(t) = 1 - p_2 * p_5 * p_2 * p_4 * p_5 = 1 - 0.87 * 0.81 * 0.87 * 0.82 * 0.81 = 0.5731$$

$$P_{\text{общ}}(t) = 1 - q_{1-2-3}(t) * q_{2-3-5}(t) * q_{1-2-4-5}(t) * q_{2-3-4-3}(t) * q_{1-5-3-5}(t) * q_{1-2-3-4-3}(t) * q_{2-5-2-3}(t) *$$

$$q_{2-5-2-4-5}(t)$$

$$= 1 - 0.3288 * 0.4083 * 0.4718 * 0.4968 * 0.4979 * 0.4479 * 0.4864 * 0.5731$$

$$= 1 - 0.0096322069 = 0.9904$$

Воспользуемся методом минимальных сечений. Всего имеется 7 различных сечений. Посчитаем вероятность безотказной работы.

$$p_{1-2}(t) = 1 - q_1(t) * q_2(t) = 1 - 0.08 * 0.13 = 0.9896$$

$$p_{2-3}(t) = 1 - q_2(t) * q_3(t) = 1 - 0.13 * 0.16 = 0.9792$$

$$p_{3-5}(t) = 1 - q_3(t) * q_5(t) = 1 - 0.16 * 0.19 = 0.9696$$

$$p_{2-5-2}(t) = 1 - q_2(t) * q_5(t) * q_2(t) = 1 - 0.13 * 0.19 * 0.13 = 0.9968$$

$$p_{3-4-3}(t) = 1 - q_3(t) * q_4(t) * q_3(t) = 1 - 0.16 * 0.18 * 0.16 = 0.9954$$

$$p_{5-4-2}(t) = 1 - q_5(t) * q_4(t) * q_2(t) = 1 - 0.19 * 0.18 * 0.13 = 0.9956$$

$$p_{1-5-3}(t) = 1 - q_1(t) * q_5(t) * q_3(t) = 1 - 0.08 * 0.19 * 0.16 = 0.9757$$

$$P_{\text{общ}}(t) = p_{1-2}(t) * p_{2-3}(t) * p_{3-5}(t) * p_{2-5-2}(t) * p_{3-4-3}(t) * p_{5-4-2}(t) * p_{1-5-3}(t)$$

$$= 0.9896 * 0.9792 * 0.9696 * 0.9968 * 0.9954 * 0.9956 * 0.9757$$

$$= 0.9056$$

Вывод: два метода определили верхнюю и нижнюю границу реального значения, значит,  $0.9056 \leq P_{\text{real}} \leq 0.9904$

### 1.3 Задание 3

Для смешанной схемы (рис. 4) соединений элементов необходимо рассчитать вероятность безотказной работы, если известны  $p_i(t)$ . Воспользуйтесь логико-вероятностным методом. Числовые значения  $p_i(t)$  представлены в таблице 3.

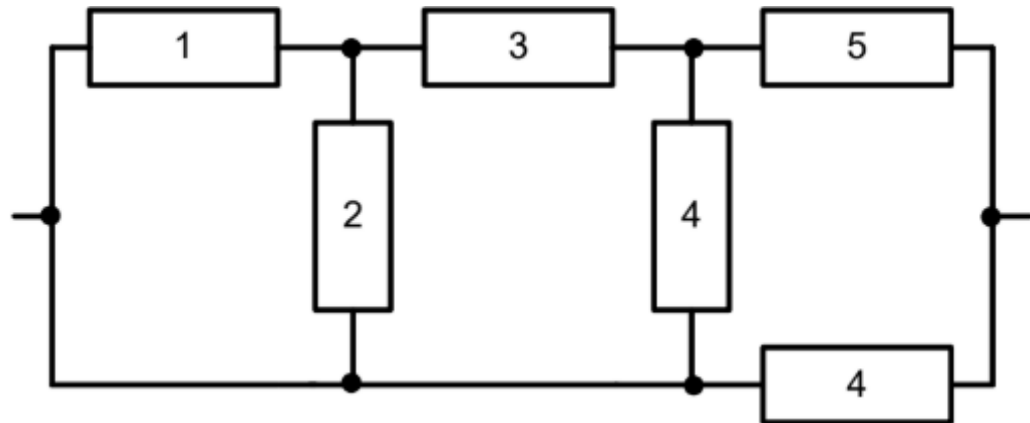


Рисунок 4 – Схема

Таблица 3 – Значения третьего задания

$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$	$p_5(t)$
0,98	0,87	0,95	0,94	0,83

Воспользуемся логико-вероятностным методом. Построим все возможные пути.

1 – 3 – 5 →  $x_1 p_1 p_3 x_4 p_5$

4 →  $x_1 x_2 x_3 p_4 x_5$

2 – 3 – 5 →  $x_1 p_2 p_3 x_4 p_5$

4 – 5 →  $x_1 x_2 x_3 p_4 p_5$

1 – 2 – 4 →  $p_1 p_2 x_3 p_4 x_5$

1 – 2 – 4 – 5 →  $p_1 p_2 x_3 p_4 p_5$

1 – 3 – 4 – 4 →  $p_1 x_2 p_3 p_4 x_5$

2 – 3 – 4 – 4 →  $x_1 p_2 p_3 p_4 x_5$

$$P_{\text{общ}}(t) = (1 - p_1) * (1 - p_2) * (1 - p_3) * p_4 * (1 - p_5) + (1 - p_1) * (1 - p_2) * (1 - p_3) * p_4 * p_5 + (1 - p_1) * p_2 * p_3 * (1 - p_4) * p_5 + (1 - p_1) * p_2 * p_3 * p_4 * (1 - p_5) + (1 - p_1) * p_2 * p_3 * p_4 * p_5 + p_1 * (1 - p_2) * p_3 * (1 - p_4) * p_5 + p_1 * (1 - p_2) * p_3 * p_4 * (1 - p_5) + p_1 * (1 - p_2) * p_3 * p_4 * p_5 + p_1 * p_2 * (1 - p_3) * p_4 * (1 - p_5) + p_1 * p_2 * (1 - p_3) * p_4 * p_5 + p_1 * p_2 * p_3 * (1 - p_4) * (1 - p_5) + p_1 * p_2 * p_3 * (1 - p_4) * p_5 + p_1 * p_2 * p_3 * p_4 * (1 - p_5) + p_1 * p_2 * p_3 * p_4 * p_5 = 0.9872$$

Для решения задачи была написана программа на языке Python.

```
import itertools
```

```
# Список переменных и значений
```

```
вероятности
```

```

variables = ['p1', 'p2', 'p3', 'p4', 'p5']
prob_values = {
    'p1': 0.98,
    'p2': 0.87,
    'p3': 0.95,
    'p4': 0.94,
    'p5': 0.83
}

# Функция оценки производительности
системы ( $F(x) = 1$ )
def logic_function(x1, x2, x3, x4, x5): return (
    (x1 and x3 and x5) or (x4) or
    (x2 and x3 and x5) or (x4 and x5) or
    (x1 and x2 and x4) or
    (x1 and x2 and x4 and x5) or (x1 and x3 and x4
    and x4) or (x2 and x3 and x4 and x4)
)

# Функция для преобразования комбинации
x = [0, 1, 1, 0, 1] → в ряд вероятностей и
вычисления значения
def combo_to_expr_and_value(combo):
    expr_parts = []
    prob = 1.0
    for i, val in enumerate(combo): var =
    variables[i]
    if val:
        expr_parts.append(var) prob *=
        prob_values[var]
    else:
        expr_parts.append(f'(1 - {var})') prob *= (1 -
        prob_values[var])
    return " * ".join(expr_parts), prob

```



```

# Просмотреть все 32 комбинации
expressions_with_values = [] total_prob = 0.0
for combo in itertools.product([0, 1], repeat=5):
    if logic_function(*combo):
        expr, val = combo_to_expr_and_value(combo)
        expressions_with_values.append(f'{expr} =
        {val:.10f}') total_prob += val
# Объедините выражения и значения
final_output = f'Робщ(t) = {total_prob:.10f}'
print(final_output)

```

#### 1.4 Задание 4

Для смешанной схемы (рис. 5) соединений элементов необходимо рассчитать вероятность безотказной работы, если известны  $p_i(t)$ . Воспользуйтесь методом эквивалентных структурных преобразований соединений «треугольник» в соединение типа «звезда».

Числовые значения  $p_i(t)$  представлены в таблице 4.

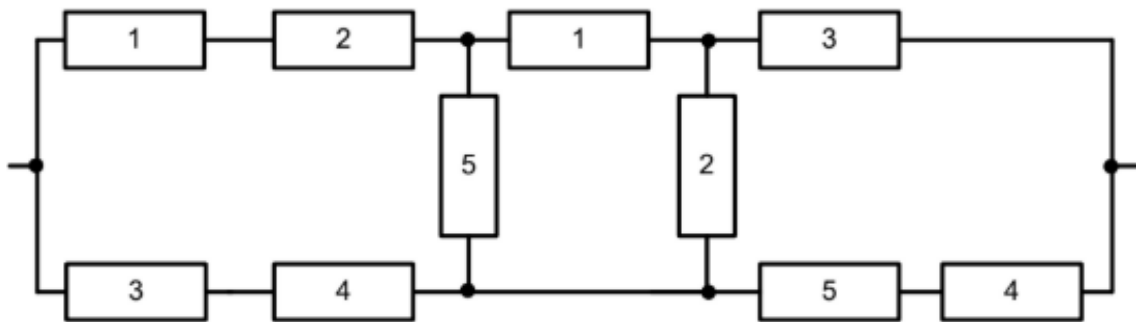


Рисунок 5 – Схема

Таблица 4 – Значения четвертого задания

$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$	$p_5(t)$
0,93	0,94	0,91	0,88	0,87
$q_1(t)$	$q_2(t)$	$q_3(t)$	$q_4(t)$	$q_5(t)$
0,07	0,06	0,09	0,12	0,13

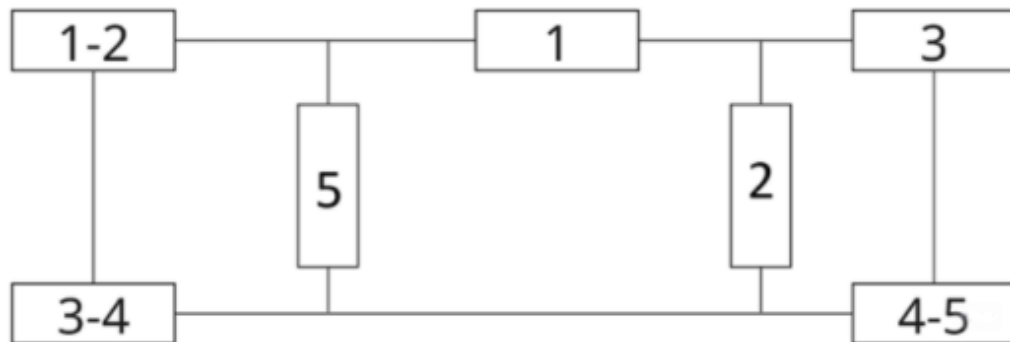


Рисунок 6 – Первое преобразование четвертой схемы

$$p_{1-2}(t) = p_1(t) * p_2(t) = 0.93 * 0.94 = 0.8742$$

$$q_{1-2}(t) = 1 - p_{1-2}(t) = 1 - 0.8742 = 0.1258$$

$$p_{3-4}(t) = p_1(t) * p_2(t) = 0.91 * 0.88 = 0.8008$$

$$q_{3-4}(t) = 1 - p_{3-4}(t) = 1 - 0.8008 = 0.1992$$

$$p_{4-5}(t) = p_1(t) * p_2(t) = 0.88 * 0.87 = 0.7656$$

$$q_{4-5}(t) = 1 - p_{4-5}(t) = 1 - 0.7656 = 0.2344$$

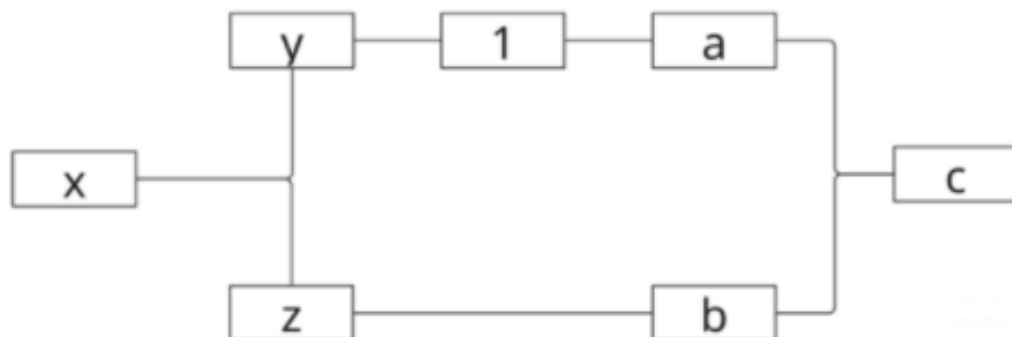


Рисунок 7 – Второе преобразование четвертой схемы

$$p_x(t) = 1 - q_{1-2}(t) * q_{3-4}(t) = 1 - 0.1258 * 0.1992 = 0.9749$$

$$p_y(t) = 1 - q_{1-2}(t) * q_5(t) = 1 - 0.1258 * 0.13 = 0.9836$$

$$p_z(t) = 1 - q_{3-4}(t) * q_5(t) = 1 - 0.1992 * 0.13 = 0.9741$$

$$p_a(t) = 1 - q_3(t) * q_3(t) = 1 - 0.09 * 0.09 = 0.9919$$

$$p_b(t) = 1 - q_{4-5}(t) * q_3(t) = 1 - 0.2344 * 0.09 = 0.9789$$

$$p_c(t) = 1 - q_3(t) * q_{4-5}(t) = 1 - 0.2344 * 0.09 = 0.9789$$

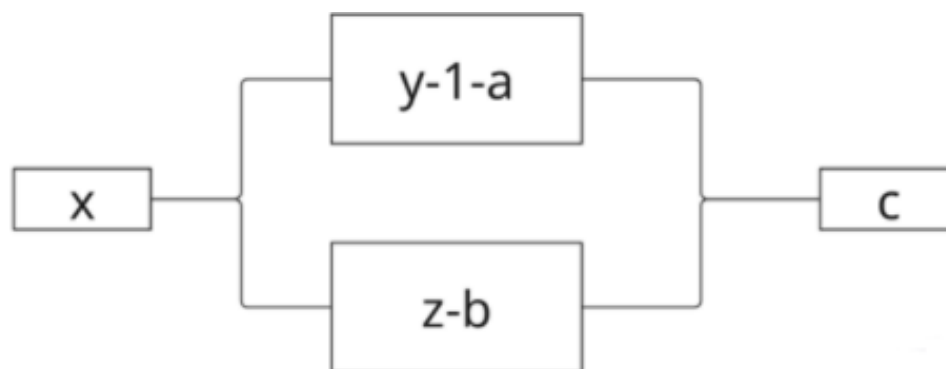


Рисунок 8 – Третье преобразование четвертой схемы

$$p_{y-1-a}(t) = p_y(t) * p_1(t) * p_a(t) = 0.9836 * 0.93 * 0.9919 = 0.9073$$

$$q_{y-1-a}(t) = 1 - p_{y-1-a}(t) = 1 - 0.9073 = 0.0927$$

$$p_{z-b}(t) = p_z(t) * p_b(t) = 0.9741 * 0.9789 =$$

$$0.9535 \quad q_{z-b}(t) = 1 - p_{z-b}(t) = 1 - 0.9535 = 0.0465$$

$$P_{\text{общ}}(t) = p_x(t) * (1 - q_{y-1-a}(t) * q_{z-b}(t)) * p_c(t) = 0.9749 * (1 - 0.0927 * 0.0465) * 0.9789 = 0.9502$$

## 1.5 Задание 5

Для смешанной схемы (рис. 9) соединений элементов необходимо рассчитать вероятность безотказной работы, если известны  $p_i(t)$ . Воспользуйтесь методом разложения структуры по «ключевым элементам». Числовые значения  $p_i(t)$  представлены в таблице 5.

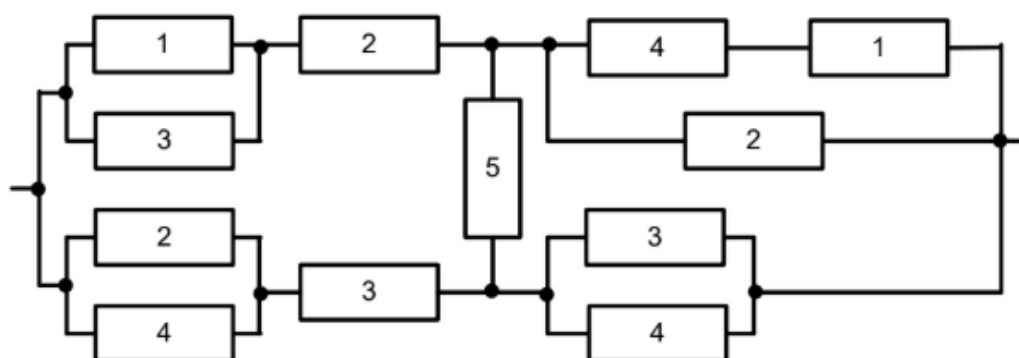


Рисунок 9 – Схема

Таблица 5 – Значения четвертого задания

$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$	$p_5(t)$
0,92	0,82	0,93	0,95	0,84

Воспользуемся методом разложения структуры по «ключевым элементам». Но для начала используем метод свертки.

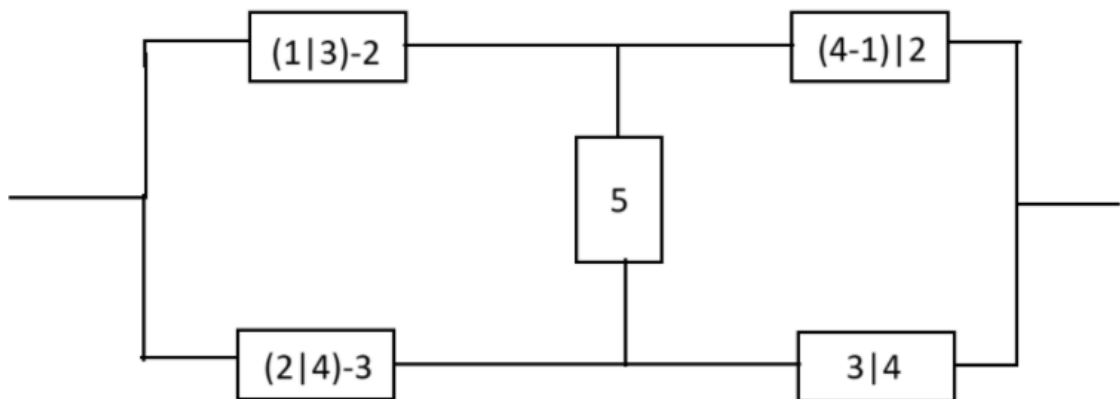


Рисунок 10 – Первое преобразование пятой схемы

$$p_{(1|3)-2}(t) = (1 - (1 - p_1(t)) * (1 - p_3(t))) * p_2(t)$$

$$= (1 - (1 - 0.92) * (1 - 0.93)) * 0.82 =$$

$$0.8154 \quad p_{(2|4)-3}(t) = (1 - (1 - p_2(t)) * (1 - p_4(t))) * p_3(t)$$

$$= (1 - (1 - 0.82) * (1 - 0.95)) * 0.93 = 0.9216$$

$$p_{3|4}(t) = 1 - (1 - p_3(t)) * (1 - p_4(t))$$

$$= 1 - (1 - 0.93) * (1 - 0.95) = 0.9965$$

$$p_{(4-1)|2}(t) = 1 - (1 - p_4(t) * p_1(t)) * (1 - p_2(t))$$

$$= 1 - (1 - 0.95 * 0.92) * (1 - 0.82) = 0.9773$$

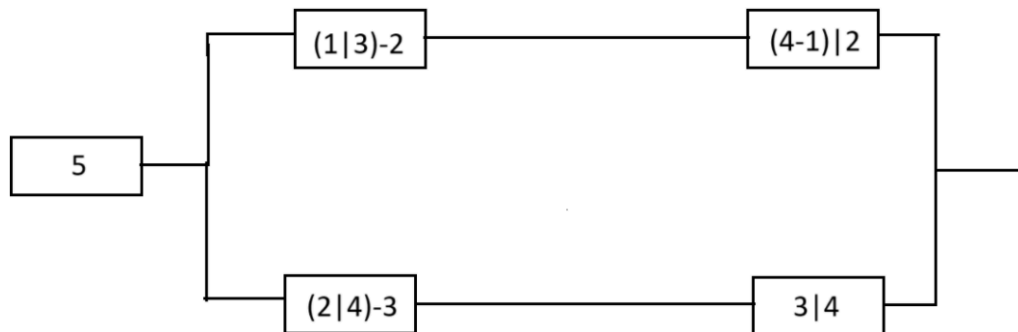


Рисунок 11 – Второе преобразование пятой схемы (Вариант А)

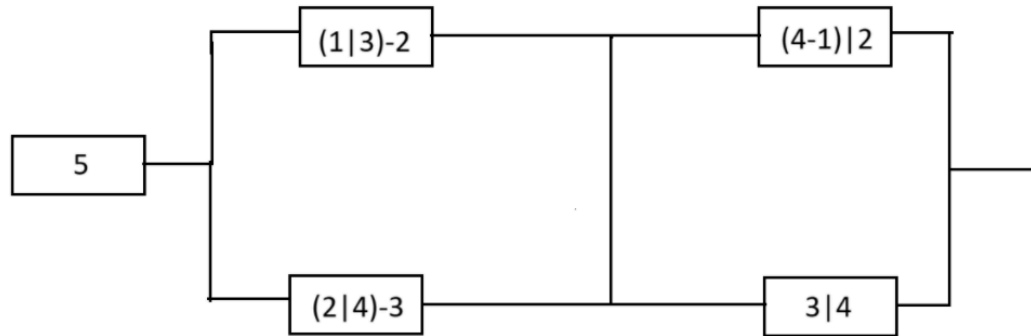


Рисунок 12 – Второе преобразование пятой схемы (Вариант Б)

$$P_{\text{общ}}(t) = p_A + p_B$$

$$\begin{aligned} p_A &= (1 - p_5(t)) * (1 - (1 - p_{(1|3)-2}(t) * p_{(4-1)|2}(t)) * (1 - p_{(2|4)-3}(t) * p_{3|4}(t))) \\ &= (1 - 0.84) * (1 - (1 - 0.8154 * 0.9773) * (1 - 0.9216 * 0.9965)) \\ &= 0.1574 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_B &= p_5(t) * (1 - (1 - p_{(1|3)-2}(t)) * (1 - p_{(2|4)-3}(t))) * (1 - (1 - p_{(4-1)|2}(t)) * (1 - p_{3|4}(t))) \\ &= 0.84 * (1 - (1 - 0.8154) * (1 - 0.9216)) * (1 - (1 - 0.9773) * (1 - 0.9965)) \\ &= 0.8278 \end{aligned}$$

$$P_{\text{общ}}(t) = p_A + p_B = 0.82778 + 0.1574 = 0.9852$$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной лабораторной работе проведен анализ содержания нормативных документов на предмет актуальности с использованием теоретических положений, изученных на лекционном занятии и исследовании данных, находящихся в сети Интернет.

В ходе выполнения данной лабораторной работы были изучены способы и виды резервирования, освоены методы определения параметров надежности для объектов со сложной структурной схемой.