1 Цель работы

Имитационное моделирование функционирования системы со сложной схемой резервирования. Построение временной зависимости, отражающей изменение коэффициента готовности восстанавливаемой □□ системы. Проверка того, что установившееся значение □□ находится в пределах границ.

2 Исходные данные

Имитационное моделирование необходимо провести для схемы, изображенной ниже:

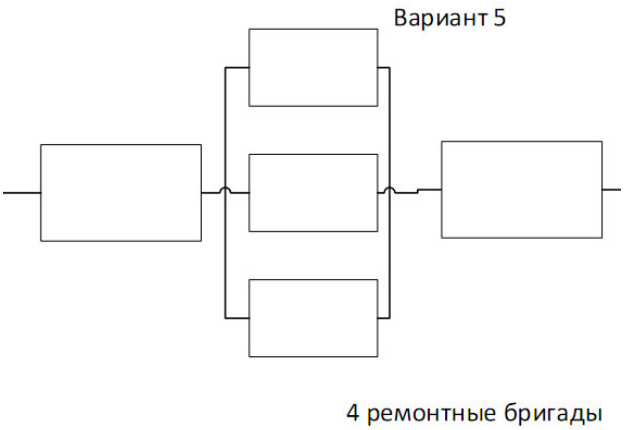


Схема 1 - Исходная схема

Для каждого элемента схемы задается □ и □ (□ = 1 и □ = 2 для рассматриваемого примера). Число экспериментов □ = 30 000. Моделирование будет продолжаться □ = 100 с шагом Δ□ = 0.01.

3 Верхняя и нижняя граница

3.1 Верхняя граница

Для подсчета верхней границы необходимо увеличить количество бригад до количества элементов системы. Таким образом, коэффициент готовности каждого элемента

$$K_{1,1} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Чтобы заданная система работала в момент времени, необходимо, чтобы работали элементы 1, 5 и любой из элементов 2, 3, 4, т.е. коэффициент готовности будет равен:

$$K^{+} = (1 - (1 - K1,1)^3) * K1,1^2$$

Для заданных значений □⁺ = 0.427

3.2 Нижняя граница через распределение бригад

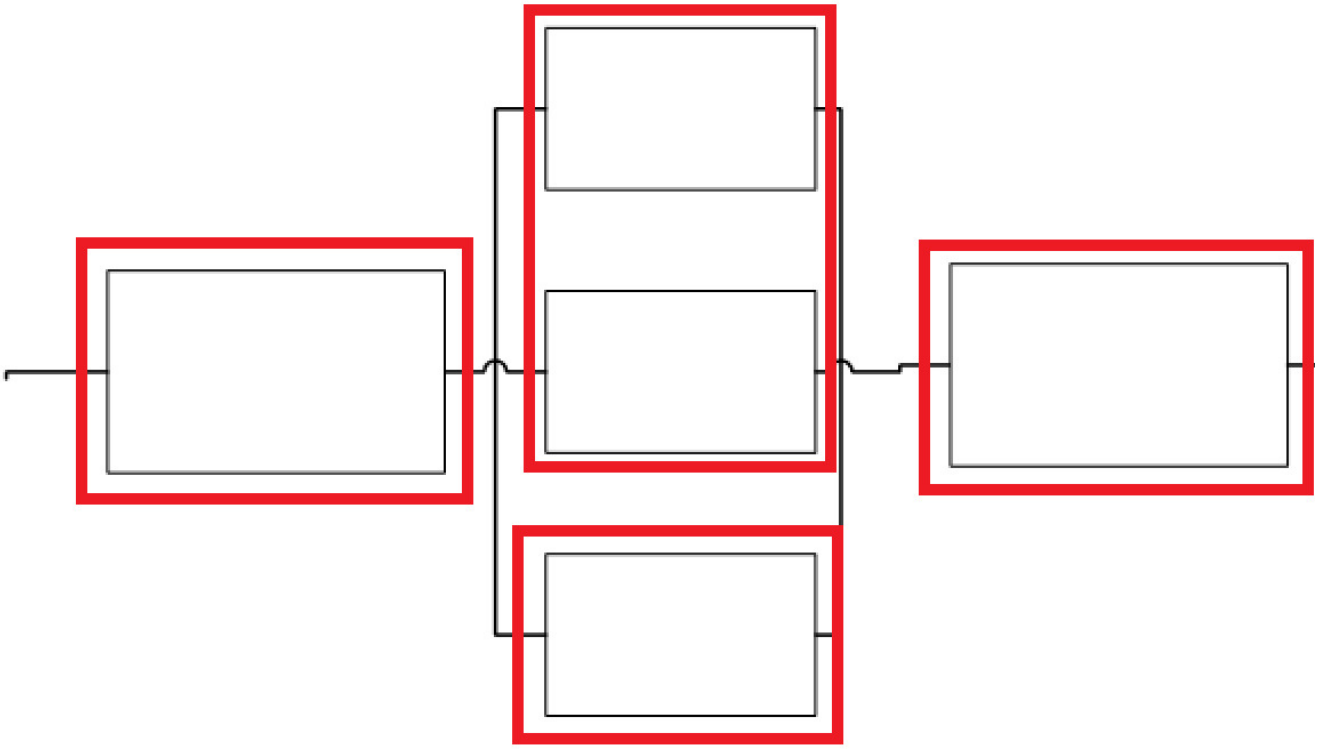


Схема 2 - Распределение бригады

Коэффициент готовности □2,1 равен:

$$K_{2,1} = \frac{2\lambda\mu + \mu^2}{2\lambda^2 + 2\lambda\mu + \mu^2}$$

Чтобы заданная система работала в момент времени, необходимо, чтобы одновременно работали элементы 1, 5 и любая из двух групп в параллельном соединении, т.е. коэффициент готовности системы будет равен:

□⁻ = (1 - (1 - K2,1)*(1 - K1,1)) * K11^2

Для заданных значений □⁻ = 0,414.

3.3 Нижняя граница через исключение систем

Для подсчета нижней границы будем считать коэффициент готовности системы, исключив дублирующие элементы из параллельного соединения:

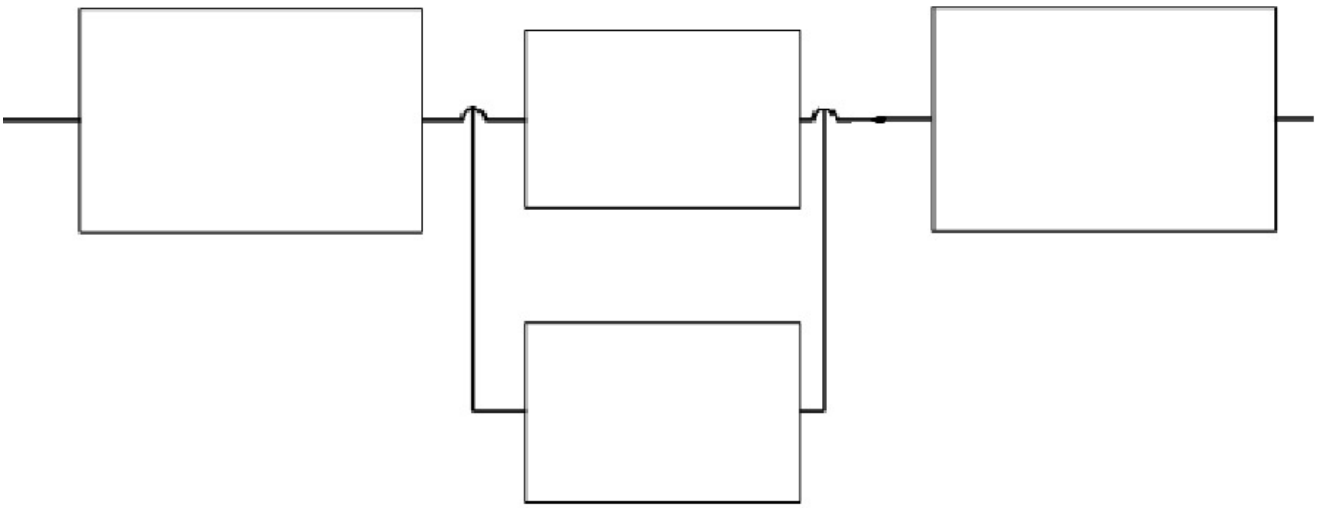


Схема 3 - С исключением дублирующих систем

Необходимо, чтобы одновременно работали все три элемента. Тогда коэффициент готовности будет равен:

□⁻ = K2,2 * K1,1^2 = (1 – (1 – K1,1)^2) * K11^2

Для заданных значений □⁻ = 0,395.

4 Имитационное моделирование

В каждый момент времени происходит оценка работоспособности системы в целом. Если один из элементов ломается, то одна из свободных бригад приступает к ремонту. Если все бригады заняты, то время ремонта элемента увеличивается на □□□□ (элемент дожидается, пока бригада освободится).

Для каждого из элементов системы необходимо случайным образом сгенерировать время работы □□ и время ремонта □□ по следующим формулам:

$$T_w = \frac{-\ln[0,1]}{\lambda} \qquad T_r = \frac{-\ln[0,1]}{\mu}$$

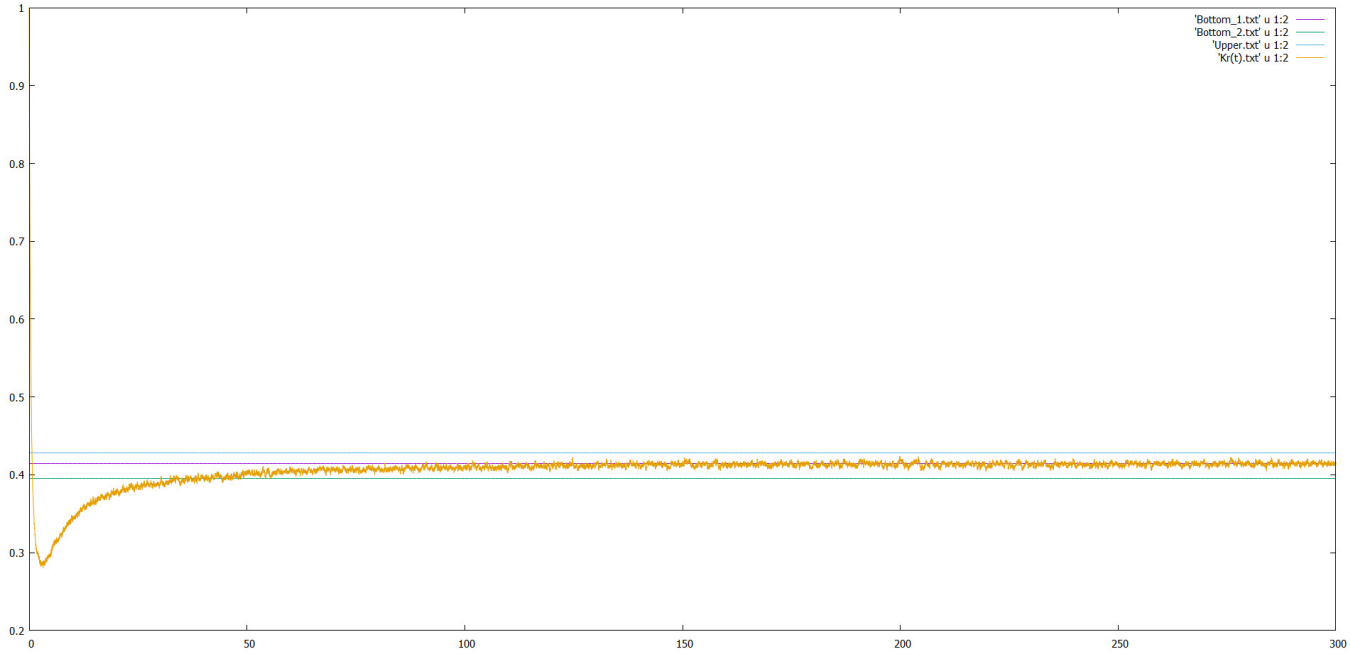
Затем в каждый момент времени функция проверки работоспособности системы возвращается □(□) = {0,1}, где 0 означает, что система не работает, иначе 1.

Таким образом моделируется □ =30 000 экспериментов. Коэффициент готовности

определяется как:

$$\square\square(\square) = (\sum_{\square=1}^{\square} \square\square(\square \ \square \ \Delta\square))/\square, \text{ где } \square = 1,2, \ldots \square$$

Результаты имитационного моделирования сравниваются с результатами аналитического расчета границ коэффициента готовности:



Выводы

Были получены верхняя и нижняя оценка коэффициента готовности системы. Также были получены экспериментальные значения коэффициента готовности, которые, как видно из графика 1 в установившемся режиме находятся в пределах заданных границ, что говорит о корректности работы программы.

Листинг программы

```
import java.io.FileWriter;

public class Modeling {
   private class Repair {
      private boolean status = true;
      private double ending;
      private int repairNum = n;

      public void createRepair(boolean s, double e, int num) {
            status = s;
            ending = e;
            repairNum = num;
      }

      public void end() {
            status = true;
            ending = 0;
            repairNum = n;
      }

      public String toString() {
            StringBuilder str = new StringBuilder();
            str.append("is free = ").append(status).append("
").append(ending).append("").append(repairNum);
            return str.toString();
      }
   }

   private class Element {
      private double Tw = 0;
      private double Tr = 0;
      private int waitNumber = 0;
      private boolean isWorking = false;
      private int index = 0;

      public String toString() {
            StringBuilder str = new StringBuilder();
            str.append(index).append(": ");
            str.append("Tw = ").append(Tw).append(" Tr =
").append(Tr).append("").append(isWorking);
            str.append("\n");
            return str.toString();
      }
   }

   private int N = 30000;
   private int n = 5;
```

```
    private int r = 4;
    private double l = 0.5;
    private double m = 1;
    private int T = 100;
    private double step = 0.01;
    private Element[] elements = new Element[n];
    private int[] E = new int[(int) ((double) T / step) + 1];

    public void BottomBound() throws Exception {
        double K21 = ((2 * m * l) + Math.pow(m, 2)) / (2 * Math.pow(l, 2) + 2 * m * l + Math.pow(m,
2));
        double K11 = m / (m + l);
        double K3 = 1 - (1 - K21)*(1 - K11);

        double K_d = K3 * K11 * K11;

        double K_elim = (1 - Math.pow(1 - K11, 2)) * K11 * K11;

        FileWriter file1 = new FileWriter("Bottom_1.txt");
        FileWriter file2 = new FileWriter("Bottom_2.txt");

        for (int t = 0; t <= T; t += 1) {
                StringBuilder str1 = new StringBuilder();
                StringBuilder str2 = new StringBuilder();
                str1.append(t).append(" ").append(K_d).append("\n");
                file1.write(str1.toString());
                file1.flush();
                str2.append(t).append(" ").append(K_elim).append("\n");
                file2.write(str2.toString());
                file2.flush();
        }
    }

    public void TopBound() throws Exception {
        double K11 = m / (m + l);

        System.out.println(K11);
        System.out.println(Math.pow(1 - K11, 3));
        System.out.println(1 - Math.pow(1 - K11, 3));
        System.out.println(K11 * K11);
        double K = (1 - Math.pow(1 - K11, 3)) * K11 * K11;
        System.out.println(K);
        FileWriter file = new FileWriter("Upper.txt");
        for (int t = 0; t <= T; t += 1) {
                StringBuilder str = new StringBuilder();
                str.append(t).append(" ").append(K).append("\n");
                file.write(str.toString());
                file.flush();
```

```
    }
}

public void timeModeling(Element e) {
    double Tw = (-1) * ((Math.log(Math.random())) / l);
    double Tr = (-1) * ((Math.log(Math.random())) / m);
    e.Tw = Tw;
    e.Tr = Tr;
}

private void isWorking(Element e, double t, Repair[] brigades) {
    int tmp = (int) Math.floor(t / (e.Tw + e.Tr));
    if ((t - (tmp * (e.Tw + e.Tr))) <= e.Tw) {
            e.isWorking = true;
    } else {
            e.isWorking = false;

            for (int i = 0; i < r; i++) {
                    if (brigades[i].repairNum == e.index) {
                            if (brigades[i].ending <= (t + step)) {
                                    e.Tr -= step * e.waitNumber;
                                    e.waitNumber = 0;
                                    brigades[i].end();
                            }
                            return;
                    }

                    if (brigades[i].status) {
                            brigades[i].createRepair(false, (tmp + 1) * (e.Tw + e.Tr), (byte) e.index);
                            return;
                    }
            }

            e.Tr += step;
            e.waitNumber++;
            return;
    }
}

private void simulate() {
    elements = new Element[n];
    for (int i = 0; i < n; i++) {
            elements[i] = new Element();
            elements[i].index = i;
    }
    for (int i = 0; i < n; i++) {
            timeModeling(elements[i]);
    }
```

```
        Repair[] brigades = new Repair[r];
        for (int i = 0; i < r; i++)
                brigades[i] = new Repair();

        int index = 0;
        for (double t = 0; t < T; t += step) {
                for (int i = 0; i < n; i++) {
                        isWorking(elements[i], t, brigades);
                }
                if (elements[0].isWorking && (elements[1].isWorking || elements[2].isWorking ||
elements[3].isWorking) && elements[4].isWorking) {
                        E[index]++;
                }
                index++;
                clear();
        }
    }

    public void modeling() throws Exception {
        TopBound();
        BottomBound();
        for (int i = 0; i < N; i++) {
                simulate();
        }
        FileWriter file = new FileWriter("Kr(t).txt");
        int index = 0;
        for (double t = 0; t < T; t += step) {
                StringBuilder str = new StringBuilder();
                str.append(t).append(" ").append(((double) E[index]) / N).append("\n");
                file.write(str.toString());
                file.flush();
                index++;
        }
    }

    public void clear() {
        for (int i = 0; i < n; i++)
                elements[i].isWorking = false;
    }

    public void clearFile() {
        try {
                FileWriter file = new FileWriter("Upper.txt");
                file.close();
                FileWriter file1 = new FileWriter("Bottom_1.txt");
                file1.close();
                FileWriter file2 = new FileWriter("Bottom_2.txt");
                file2.close();
```

```
                FileWriter file3 = new FileWriter("Kr(t).txt");
                file3.close();
            } catch (Exception e) {
                System.out.println(e.getMessage());
                e.printStackTrace();
            }
        }

        public static void main() {
            Modeling m = new Modeling();

            try {
                m.modeling();
            } catch (Exception e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
    }
```