

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №5**  
**по дисциплине «Качество и метрология программного обеспечения»**  
**Тема: Оценка параметров надежности программ по временным моделям**  
**обнаружения ошибок**

Студент гр. 7304

\_\_\_\_\_

Субботин А.С.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Ефремов М.А.

Санкт-Петербург

2021

## Цель работы

Выполнить исследование показателей надежности программ, характеризующих модель обнаружения ошибок Джелинского-Моранды, для различных законов распределения времен обнаружения отказов и различного числа используемых для анализа данных.

## Ход работы

1. С использованием функции `numpy.random.uniform` модуля `numpy` для языка Python были сгенерированы в соответствии с равномерным законом распределения и отсортированы три массива – и использованием 100% данных, а также 80% и 60%. Результат представлен в Таблице 1.

| i  | Равномерное<br>(100% данных) | Равномерное<br>(80% данных) | Равномерное<br>(60% данных) |
|----|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1  | 0,533                        | 0,422                       | 1,500                       |
| 2  | 1,618                        | 0,634                       | 2,748                       |
| 3  | 4,085                        | 0,677                       | 3,920                       |
| 4  | 4,417                        | 1,323                       | 5,243                       |
| 5  | 5,205                        | 1,705                       | 6,280                       |
| 6  | 5,371                        | 1,874                       | 7,540                       |
| 7  | 5,671                        | 2,294                       | 7,847                       |
| 8  | 6,445                        | 2,410                       | 8,911                       |
| 9  | 7,570                        | 6,205                       | 9,758                       |
| 10 | 8,156                        | 6,756                       | 10,521                      |
| 11 | 8,794                        | 7,501                       | 12,997                      |
| 12 | 8,798                        | 7,801                       | 14,201                      |
| 13 | 9,809                        | 8,766                       | 14,461                      |
| 14 | 9,811                        | 11,566                      | 14,647                      |
| 15 | 10,391                       | 13,374                      | 17,371                      |
| 16 | 10,653                       | 13,450                      | 18,635                      |
| 17 | 12,091                       | 13,754                      | 19,241                      |
| 18 | 12,732                       | 15,310                      | 19,920                      |
| 19 | 13,364                       | 15,316                      |                             |

|    |        |        |  |
|----|--------|--------|--|
| 20 | 13,850 | 16,136 |  |
| 21 | 14,902 | 16,772 |  |
| 22 | 15,972 | 17,493 |  |
| 23 | 16,014 | 17,552 |  |
| 24 | 16,065 | 18,426 |  |
| 25 | 16,419 |        |  |
| 26 | 16,583 |        |  |
| 27 | 16,827 |        |  |
| 28 | 18,077 |        |  |
| 29 | 18,982 |        |  |
| 30 | 19,007 |        |  |

Таблица 1 – Равномерный закон распределения

2. Вычисления для  $n = 30$ :

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 15,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 19,600$$

$19,6 > 15,5$  – условие сходимости выполнено

Поиск  $m$ , формулы представлены ниже, результаты – в Таблице 2.

$$f_n(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}$$

$$g_n(m, A) = \frac{n}{m-A}$$

| m         | f               | g               | f-g             |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 31        | 3,994987        | 2,631655        | 1,363332        |
| 32        | 3,027245        | 2,419419        | 0,607826        |
| 33        | 2,558495        | 2,238861        | 0,319634        |
| 34        | 2,255465        | 2,083381        | 0,172084        |
| 35        | 2,034877        | 1,948094        | 0,086783        |
| 36        | 1,863448        | 1,829305        | 0,034143        |
| <b>37</b> | <b>1,724559</b> | <b>1,724171</b> | <b>0,000388</b> |
| 38        | 1,608729        | 1,630464        | 0,021735        |

Таблица 2 – Поиск минимума (равн, 100%)

Минимум при  $m = 37$ ,  $B = m - 1 = 36$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,005253214$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X         |
|----|-----------|
| 31 | 31,726612 |
| 32 | 38,071934 |
| 33 | 47,589918 |
| 34 | 63,453224 |
| 35 | 95,179836 |
| 36 | 190,35967 |

Время до полного завершения тестирования: 466,381 дней

Полное время тестирования: 794,594 дня

3. Вычисления для  $n = 24$ :

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n + 1}{2} = 12,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 17,293$$

$17,293 > 12,5$  – условие сходимости выполнено

Поиск  $m$ , результаты в Таблице 3.

| m         | f              | g               | f-g             |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| 25        | 3,73429        | 3,113927        | 0,620364        |
| <b>26</b> | <b>2,77596</b> | <b>2,756305</b> | <b>0,019653</b> |
| 27        | 2,31596        | 2,472364        | 0,156406        |

Таблица 3 – Поиск минимума (равн, 80%)

Минимум при  $m = 26$ ,  $B = m - 1 = 25$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,012671771$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X         |
|----|-----------|
| 25 | 78,915566 |

Время до полного завершения тестирования: 78,916 дней

Полное время тестирования: 296,431 дней

4. Вычисления для  $n = 18$ :

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 9,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 12,192$$

$12,192 > 9,5$  – условие сходимости выполнено

Поиск  $m$ , результаты в Таблице 4.

| m         | f               | g               | f-g             |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 19        | 3,495108        | 2,643844        | 0,851264        |
| 20        | 2,547740        | 2,305249        | 0,242491        |
| 21        | 2,097740        | 2,043535        | 0,054205        |
| <b>22</b> | <b>1,812025</b> | <b>1,835186</b> | <b>0,023161</b> |
| 23        | 1,607480        | 1,665392        | 0,057912        |

Таблица 4 – Поиск минимума (равн, 60%)

Минимум при  $m = 22$ ,  $B = m - 1 = 21$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,00937556$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X          |
|----|------------|
| 19 | 35,553430  |
| 20 | 53,330145  |
| 21 | 106,660291 |

Время до полного завершения тестирования: 195,544 дней

Полное время тестирования: 391,285 день

5. С использованием функции `numpy.random.exponential` модуля `numpy` для языка Python были сгенерированы в соответствии с экспоненциальным законом распределения и отсортированы три массива – и использованием 100% данных, а также 80% и 60%. Результат представлен в Таблице 5.

| i  | Экспонента<br>(100% данных) | Экспонента<br>(80% данных) | Экспонента<br>(60% данных) |
|----|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1  | 0,365                       | 0,550                      | 0,370                      |
| 2  | 0,378                       | 0,733                      | 0,944                      |
| 3  | 0,814                       | 2,507                      | 1,575                      |
| 4  | 0,971                       | 2,675                      | 3,489                      |
| 5  | 1,071                       | 3,063                      | 6,974                      |
| 6  | 1,604                       | 3,334                      | 7,045                      |
| 7  | 2,631                       | 3,969                      | 7,455                      |
| 8  | 3,043                       | 4,390                      | 7,624                      |
| 9  | 3,250                       | 5,231                      | 8,094                      |
| 10 | 3,277                       | 5,525                      | 8,576                      |
| 11 | 3,969                       | 6,069                      | 12,540                     |
| 12 | 4,919                       | 6,758                      | 16,078                     |
| 13 | 5,457                       | 6,943                      | 17,693                     |
| 14 | 5,817                       | 7,836                      | 20,534                     |
| 15 | 6,332                       | 8,830                      | 22,117                     |
| 16 | 6,556                       | 9,262                      | 23,821                     |
| 17 | 8,143                       | 10,416                     | 28,034                     |
| 18 | 8,698                       | 11,993                     | 32,589                     |
| 19 | 8,839                       | 13,217                     |                            |
| 20 | 10,280                      | 13,677                     |                            |
| 21 | 10,865                      | 14,615                     |                            |
| 22 | 14,177                      | 16,137                     |                            |
| 23 | 15,400                      | 19,885                     |                            |
| 24 | 17,171                      | 42,387                     |                            |

|    |        |  |  |
|----|--------|--|--|
| 25 | 17,380 |  |  |
| 26 | 18,251 |  |  |
| 27 | 21,286 |  |  |
| 28 | 22,424 |  |  |
| 29 | 22,798 |  |  |
| 30 | 25,354 |  |  |

Таблица 5 – Экспоненциальный закон распределения

6. Вычисления для  $n = 30$ :

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 15,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 22,431$$

$22,431 > 15,5$  – условие сходимости выполнено

Поиск  $m$ , результаты в Таблице 6.

| <b>m</b>  | <b>f</b>       | <b>g</b>        | <b> f-g </b>    |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| 31        | 3,99499        | 3,500899        | 0,494088        |
| <b>32</b> | <b>3,02725</b> | <b>3,135049</b> | <b>0,107804</b> |
| 33        | 2,55850        | 2,838429        | 0,279934        |

Таблица 6 – Поиск минимума (эксп, 100%)

Минимум при  $m = 32$ ,  $B = m - 1 = 31$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,01154617$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| <b>i</b> | <b>X</b>    |
|----------|-------------|
| 31       | 86,60880764 |

Время до полного завершения тестирования: 86,609 дней

Полное время тестирования: 358,132 дней

7. Вычисления для  $n = 24$ :

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 12,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 17,743$$

$17,743 > 12,5$  – условие сходимости выполнено

Поиск  $m$ , результаты в Таблице 7.

| <b>m</b>  | <b>f</b>       | <b>g</b>        | <b> f-g </b>    |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| 25        | 3,77596        | 3,307018        | 0,46894         |
| <b>26</b> | <b>2,81596</b> | <b>2,906521</b> | <b>0,090563</b> |
| 27        | 2,35442        | 2,59255         | 0,238131        |

Таблица 7 – Поиск минимума (эксп, 80%)

Минимум при  $m = 26$ ,  $B = m - 1 = 25$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,013211415$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| <b>i</b> | <b>X</b>    |
|----------|-------------|
| 25       | 75,69212187 |

Время до полного завершения тестирования: 75,692 дней

Полное время тестирования: 295,693 дней

8. Вычисления для  $n = 18$ :

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 9,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 13,275$$

$13,275 > 9,5$  – условие сходимости выполнено



Поиск m, результаты в Таблице 8.

| m         | f              | g               | f-g             |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| 19        | 3,49511        | 3,14433         | 0,350778        |
| <b>20</b> | <b>2,54774</b> | <b>2,676743</b> | <b>0,129004</b> |
| 21        | 2,09774        | 2,330221        | 0,232481        |

Таблица 8 – Поиск минимума (эксп, 60%)

Минимум при m = 20, B = m – 1 = 19

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,011867452$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X           |
|----|-------------|
| 19 | 84,26408915 |

Время до полного завершения тестирования: 84,264 дня

Полное время тестирования: 309,817 дней

9. С использованием функции `numpy.random.rayleigh` модуля `numpy` для языка Python были сгенерированы в соответствии с релеевским законом распределения и отсортированы три массива – и использованием 100% данных, а также 80% и 60%. Результат представлен в Таблице 9.

| i | Релеевское<br>(100% данных) | Релеевское<br>(80% данных) | Релеевское<br>(60% данных) |
|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 2,043                       | 3,096                      | 1,357                      |
| 2 | 3,725                       | 4,097                      | 2,557                      |
| 3 | 3,752                       | 4,196                      | 2,713                      |
| 4 | 3,916                       | 4,475                      | 5,258                      |
| 5 | 4,624                       | 4,499                      | 5,589                      |
| 6 | 4,711                       | 4,557                      | 5,591                      |
| 7 | 4,843                       | 4,775                      | 5,658                      |
| 8 | 5,179                       | 6,432                      | 6,349                      |

|    |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|
| 9  | 5,482  | 6,625  | 6,818  |
| 10 | 6,214  | 7,390  | 7,324  |
| 11 | 6,321  | 7,614  | 11,088 |
| 12 | 6,383  | 7,946  | 11,998 |
| 13 | 7,826  | 7,991  | 15,149 |
| 14 | 7,859  | 10,749 | 15,912 |
| 15 | 8,184  | 11,059 | 18,811 |
| 16 | 8,204  | 11,225 | 21,314 |
| 17 | 8,847  | 11,443 | 22,849 |
| 18 | 9,009  | 11,743 | 29,181 |
| 19 | 10,547 | 12,773 |        |
| 20 | 10,673 | 13,559 |        |
| 21 | 10,772 | 13,719 |        |
| 22 | 11,149 | 14,754 |        |
| 23 | 11,807 | 16,604 |        |
| 24 | 12,018 | 23,103 |        |
| 25 | 13,572 |        |        |
| 26 | 15,461 |        |        |
| 27 | 15,590 |        |        |
| 28 | 16,814 |        |        |
| 29 | 18,919 |        |        |
| 30 | 20,791 |        |        |

Таблица 9 – Релеевский закон распределения

10.Вычисления для n = 30:

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 15,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 19,801$$

19,801 > 15,5 – условие сходимости выполнено

Поиск m, результаты в Таблице 10.

| m         | f              | g               | f-g             |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| 31        | 3,99499        | 2,678704        | 1,316284        |
| 32        | 3,02725        | 2,459128        | 0,568117        |
| 33        | 2,55850        | 2,272822        | 0,285673        |
| 34        | 2,25546        | 2,112758        | 0,142707        |
| 35        | 2,03488        | 1,973756        | 0,061121        |
| <b>36</b> | <b>1,86345</b> | <b>1,851915</b> | <b>0,011533</b> |
| 37        | 1,72456        | 1,744242        | 0,019683        |

Таблица 10 – Поиск минимума (рел, 100%)

Минимум при m = 36, B = m – 1 = 35

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,006728565$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X         |
|----|-----------|
| 31 | 29,72402  |
| 32 | 37,15502  |
| 33 | 49,54003  |
| 34 | 74,31005  |
| 35 | 148,62010 |

Время до полного завершения тестирования: 339,349 дней

Полное время тестирования: 614,581 дней

11. Вычисления для n = 24:

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 12,5; \quad A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 15,853$$

15,853 > 12,5 – условие сходимости выполнено

Поиск m, результаты в Таблице 11.

| m         | f              | g               | f-g             |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| 25        | 3,77596        | 2,623838        | 1,15212         |
| 26        | 2,81596        | 2,365253        | 0,450705        |
| 27        | 2,35442        | 2,153064        | 0,201356        |
| 28        | 2,05812        | 1,975812        | 0,082312        |
| 29        | 1,84384        | 1,825525        | 0,018313        |
| <b>30</b> | <b>1,67832</b> | <b>1,696484</b> | <b>0,018164</b> |
| 31        | 1,54499        | 1,584482        | 0,039495        |

Таблица 11 – Поиск минимума (рел, 80%)

Минимум при m = 30, B = m – 1 = 29

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,007559272$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X          |
|----|------------|
| 25 | 26,457575  |
| 26 | 33,071969  |
| 27 | 44,095958  |
| 28 | 66,143938  |
| 29 | 132,287875 |

Время до полного завершения тестирования: 302,057 дня

Полное время тестирования: 526,482 дней

12. Вычисления для n = 18:

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 9,5; A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 13,015$$

13,015 > 9,5 – условие сходимости выполнено

Поиск m, результаты в Таблице 12.

| m         | f       | g               | f-g             |
|-----------|---------|-----------------|-----------------|
| 19        | 3,49511 | 3,007583        | 0,487525        |
| <b>20</b> | 2,54774 | <b>2,576998</b> | <b>0,029258</b> |
| 21        | 2,09774 | 2,254263        | 0,156523        |

Таблица 12 – Поиск минимума (рел, 60%)

Минимум при m = 20, B = m – 1 = 19

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i}$$

$$= 0,013180482$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

$$\hat{X}_{n+1} = \frac{1}{\hat{Z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}$$

| i  | X          |
|----|------------|
| 19 | 75,8697613 |

Время до полного завершения тестирования: 75,87 дней

Полное время тестирования: 271,386 день

### 13.Результаты:

Оценка первоначального числа ошибок представлена в Таблице 13.

|        | Равномерный | Экспоненциальный | Релеевский |
|--------|-------------|------------------|------------|
| n = 30 | 36          | <b>31</b>        | 35         |
| n = 24 | 25          | <b>25</b>        | 29         |
| n = 18 | 21          | <b>19</b>        | 19         |

Таблица 13 – Оценка первоначального числа ошибок

Оценка полного времени проведения тестирования представлена в Таблице 14.

|        | Равномерный | Экспоненциальный | Релеевский     |
|--------|-------------|------------------|----------------|
| n = 30 | 794,594     | <b>358,132</b>   | 614,581        |
| n = 24 | 296,431     | <b>295,693</b>   | 526,482        |
| n = 18 | 391,285     | 309,817          | <b>271,386</b> |

Таблица 14 – Оценка полного времени проведения тестирования

Экспоненциальный закон распределения показывает наилучшие результаты по двум оценкам сразу при любых входных данных (кроме времени тестирования при  $n = 18$ ), так как по предположению модели Джелински-Моранды время до следующего отказа программы распределено экспоненциально.

Также можно заметить, что оценка полного времени проведения тестирования зависит от первоначального числа ошибок: так при равных  $B$  (для 80% данных) экспоненциальный и равномерный законы распределения демонстрируют близкие временные результаты, подобная ситуация и с равными  $B$  для экспоненциального и релеевского распределения (60% данных), а наихудшие показатели времени можно обнаружить в ячейках, соответствующих ячейкам с наихудшими показателями первоначального числа ошибок.

### **Выводы**

В ходе выполнения данной лабораторной работы было выполнено исследование показателей надежности программ, характеризуемых моделью обнаружения ошибок.