

**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

Шарапенков И.И.

Преподаватель

Ефремов М.А.

Санкт-Петербург

2021

### Задание.

Выполнить исследование показателей надежности программ, характеризуемых моделью обнаружения ошибок Джелинского-Моранды, для различных законов распределения времен обнаружения отказов и различного числа используемых для анализа данных. Для проведения исследования требуется:

1. Сгенерировать массивы данных  $\{X_i\}$ , где  $X_i$  – случайное значение интервала между соседними  $(i-1)$ -ой и  $i$ -ой ошибками ( $i=[1,30]$ , также смотри примечание в п.3), в соответствии с:

А) равномерным законом распределения в интервале  $[0,20]$ ; при этом средний интервал между ошибками будет  $m_{\text{равн}} = 10$ , СКО  $s_{\text{равн}} = 20/(2*\sqrt{3}) = 5.8$ .

Б) экспоненциальным законом распределения

$$W(y) = b*\exp(-b*y), \quad y \geq 0, \text{ с параметром } b=0.1$$

и соответственно  $m_{\text{эксп}} = s_{\text{эксп}} = 1/b = 10$ .

Значения случайной величины  $Y$  с экспоненциальным законом распределения с параметром «b» можно получить по значениям случайной величины  $t$ , равномерно распределенной в интервале  $[0,1]$ , по формуле [1]:  $Y = -\ln(t) / b$

В) релеевским законом распределения

$W(y) = (y/c^2)*\exp(-y^2/(2*c^2)), \quad y \geq 0, \quad \text{с параметром } c=8.0$  и соответственно  $m_{\text{рел}} = c*\sqrt{\pi/2}$ ,  $s_{\text{рел}} = c*\sqrt{2-\pi/2}$ .

Значения случайной величины  $Y$  с релеевским законом распределения с параметром «с» можно получить по значениям случайной величины  $t$ , равномерно распределенной в интервале  $[0,1]$ , по формуле [1]:  $Y = c * \sqrt{-2*\ln(t)}$ .

2. Каждый из 3-х массивов  $\{X_i\}$  интервалов времени между соседними ошибками упорядочить по возрастанию.

3. Для каждого из 3-х массивов  $\{X_i\}$  оценить значение первоначального числа ошибок в программе В. При этом для каждого закона использовать 100%, 80% и 60% входных данных (то есть в массивах  $\{X_i\}$  использовать  $n = 30, 24$  и  $18$  элементов).

*Примечание:* для каждого значения  $n$  следует генерировать и сортировать новые массивы.

4. Если  $B > n$ , оценить значения средних времен  $X_j$ ,  $j = n+1, n+2, \dots, n+k$  до обнаружения  $k \leq 5$  следующих ошибок и общее время на выполнение тестирования.

5. Результаты вычислений представить в виде двух таблиц, одна из которых содержит оценки первоначального числа ошибок, а другая – оценки полных времен проведения тестирования - для разных законов распределения времен между отказами и разного числа используемых данных.

6. Сравнить и объяснить результаты, полученные для различных законов распределения времени между соседними отказами и различного числа используемых для анализа данных.

## Ход выполнения.

### 1. Равномерный закон

#### а. Равномерный закон распределения (100% входных данных)

i	X	i	X	i	X
1	0.366	11	6.476	21	12.583
2	0.977	12	6.483	22	12.736
3	2.484	13	7.888	23	15.057
4	2.742	14	8.081	24	15.970
5	3.496	15	8.404	25	16.637
6	4.162	16	9.004	26	16.705
7	5.853	17	10.254	27	17.302
8	6.376	18	10.360	28	17.325
9	6.419	19	10.969	29	18.297
10	6.461	20	11.351	30	19.508

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 20.29$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 15.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
31	3.99499	2.80308	1.19191
32	3.02725	2.56355	0.463696
33	2.5585	2.36173	0.19676
34	2.25546	2.18938	0.0660878

35	2.03488	2.04047	0.00558884
36	1.86345	1.91052	0.0470724

Минимум при  $m = 35$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 34$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.00702$$

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

i	31	32	33	34
$\hat{X}_i$	35.6201	47.4934	71.2401	142.48

Время до завершения тестирования =  $\sum_{i=31}^{33} \hat{X}_i = 296.83$  дней

Полное время тестирования  $\sum_{i=1}^{30} \hat{X}_i + \sum_{i=31}^{33} \hat{X}_i = 587.56$  дней

#### **в. Равномерный закон распределения (80% входных данных)**

i	X	i	X	i	X
1	0.072	9	7.008	17	11.922
2	0.639	10	7.369	18	12.284
3	1.071	11	7.439	19	13.773
4	2.577	12	7.468	20	15.493
5	3.239	13	7.723	21	16.082
6	4.426	14	8.071	22	16.734
7	5.819	15	11.297	23	17.696
8	6.338	16	11.443	24	18.105

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 16.66$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 12.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
25	3.77596	2.87645	0.899506
26	2.81596	2.5686	0.247358
<b>27</b>	<b>2.35442</b>	<b>2.32027</b>	<b>0.0341469</b>
28	2.05812	2.11573	0.057605

Минимум при  $m = 27$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 26$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.0108$$

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

i	25	26
$\hat{X}_i$	46.1342	92.2685

Время до завершения тестирования = 138.4 дней

Полное время тестирования = 352.49 дней

### с. Равномерный закон распределения (60% входных данных)

i	X	i	X	i	X
1	1.110,	7	4.293,	13	12.361,
2	1.210,	8	11.904,	14	12.735,
3	1.216,	9	6.456,	15	14.791,

4	1.779,	10	7.414,	16	16.290,
5	2.827,	11	8.164,	17	18.220,
6	2.938,	12	8.510,	18	19.045

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 13.13$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 9.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
19	3.49511	3.06829	0.42682
<b>20</b>	<b>2.54774</b>	<b>2.62144</b>	<b>0.0736968</b>
21	2.09774	2.28819	0.190455

Минимум при  $m = 20$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 19 = n$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.017$$

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

i	19
$\hat{X}_i$	57.7023

Время до завершения тестирования = 57.70 дней

Полное время тестирования = 208.96 дней

## 2. Экспоненциальный закон

### а. Экспоненциальный закон (100% входных данных)

i	X	i	X	i	X
1	0.160	11	2.776	21	16.341
2	0.323	12	2.846	22	17.111
3	0.658	13	3.009	23	17.516
4	0.790	14	4.086	24	17.902
5	1.309	15	5.012	25	19.146
6	1.421	16	5.700	26	19.981
7	1.633	17	7.670	27	31.447
8	1.938	18	8.460	28	33.535
9	2.054	19	12.210	29	35.165
10	2.059	20	13.160	30	42.249

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 23.86$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 15.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
<b>31</b>	<b>3.99499</b>	<b>4.20117</b>	<b>0.206182</b>
32	3.02725	3.68511	0.657865

Минимум при  $m = 31$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 30$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.0128$$

Время до завершения тестирования = 0 дней



Полное время тестирования = 327.667 дней

**в. Экспоненциальный закон (80% входных данных)**

i	X	i	X	i	X
1	0.166	9	5.738	17	9.063
2	1.744	10	5.986	18	10.894
3	2.239	11	6.084	19	12.304
4	2.911	12	6.612	20	15.703
5	3.223	13	7.167	21	19.464
6	4.995	14	8.305	22	19.534
7	5.166	15	8.569	23	26.427
8	5.308	16	9.019	24	30.826

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 17.46$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 12.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
25	3.77596	3.18244	0.593514
<b>26</b>	<b>2.81596</b>	<b>2.80985</b>	<b>0.00610596</b>
27	2.35442	2.51536	0.160941

Минимум при  $m = 26$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 25 = n$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.0123$$

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

i	25
$\hat{X}_i$	80.9463

Время до завершения тестирования = 80.94 дней

Полное время тестирования = 308.39 дней

### с. Экспоненциальный закон (60% входных данных)

i	X	i	X	i	X
1	0.035	7	3.910	13	16.377
2	0.426	8	4.035	14	16.781
3	0.551	9	5.888	15	17.106
4	2.598	10	9.181	16	17.957
5	3.470	11	10.666	17	18.708
6	3.851	12	10.847	18	55.144

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 14.21$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 9.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
19	3.49511	3.76093	0.265819

20	2.54774	3.11093	0.563189
----	---------	---------	----------

Минимум при  $m = 19$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 18$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.019$$

Время до завершения тестирования: = 0 дней

Полное время тестирования = 197.531 дней

### 3. Релеевский закон

#### а. Релеевский закон (100% входных данных)

i	X	i	X	i	X
1	0.993	11	5.5031,	21	10.475,
2	1.649,	12	6.170,	22	13.311,
3	1.681,	13	6.704,	23	13.891,
4	3.052,	14	7.010,	24	16.176,
5	3.811,	15	7.508,	25	16.852,
6	4.305,	16	7.666,	26	17.113,
7	4.445,	17	8.966,	27	18.060,
8	4.584,	18	9.045,	28	19.461,
9	4.702,	19	9.425,	29	23.143,
10	5.181	20	9.430,	30	25.644

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 21.07$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 15.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
31	3.99499	3.02228	0.972708
32	3.02725	2.74567	0.281572
<b>33</b>	<b>2.5585</b>	<b>2.51545</b>	<b>0.0430424</b>
34	2.25546	2.32085	0.065388

Минимум при  $m = 33$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 32$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i \cdot X_i} = 0.0088$$

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

i	31	32
$\hat{X}_i$	56.8399	113.68

Время до завершения тестирования = 170.52 дней

Полное время тестирования = 456.47 дней

#### в. Релеевский закон (80% входных данных)

i	X	i	X	i	X
1	2.205,	9	8.222,	17	12.378,
2	2.924,	10	9.594,	18	12.865,
3	4.774,	11	9.676,	19	14.958,
4	5.898,	12	9.850,	20	15.214,
5	6.598,	13	9.972,	21	15.304,
6	7.264,	14	10.546,	22	17.477,
7	8.105,	15	11.352,	23	19.598,

8	8.167,	16	11.512,	24	22.711
---	--------	----	---------	----	--------

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n t^* X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 15.57$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 12.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
25	3.77596	2.54409	1.23187
26	2.81596	2.30026	0.515702
27	2.35442	2.09907	0.255347
28	2.05812	1.93025	0.127873
29	1.84384	1.78656	0.0572756
30	1.67832	1.66278	0.0155362
<b>31</b>	<b>1.54499</b>	<b>1.55505</b>	<b>0.0100594</b>
32	1.43439	1.46042	0.0260325

Минимум при  $m = 31$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 30$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n t^* X_i} = 0.006$$

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

i	25	26	27	28	29	30
$\hat{X}_i$	27.5623	33.0748	41.3435	55.1246	82.6869	165.374

Время до завершения тестирования: = 405.16 дней

Полное время тестирования = 662.33 дней

**с. Релеевский закон (60% входных данных)**

i	X	i	X	i	X
1	2.043	7	5.337	13	11.327
2	2.409	8	5.959	14	11.895
3	2.880	9	9.911	15	12.469
4	3.771	10	10.265	16	14.358
5	4.455	11	10.631	17	16.303
6	4.474	12	11.318	18	20.750

Была выполнена оценка средних времён до завершения тестирования и полного времени тестирования для этого набора данных:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 12.398$$

$$A > \frac{n+1}{2} = 9.5 \Rightarrow \text{существует конечное решение}$$

$$f(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}, \quad m \geq n + 1$$

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

m	$f(m)$	$g(m, A)$	$ f - g $
19	3.49511	2.72638	0.768726
20	2.54774	2.36775	0.17999
<b>21</b>	<b>2.09774</b>	<b>2.0925</b>	<b>0.00524075</b>
22	1.81203	1.87458	0.0625538

Минимум при  $m = 21$ ,  $\hat{B} = m - 1 = 20$

$$\hat{K} = \frac{n}{(\hat{B}-1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.013$$

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

i	19	20
$\hat{X}_i$	38.3644	76.7288

Время до завершения тестирования: = 115.09 дней

Полное время тестирования = 275.65 дней

#### 4. Полученные результаты

Закон распределения	N=30	N=24	N=18
Равномерный	34	26	19
Экспоненциальный	30	25	18
Релеевский	32	30	20

Таблица 1 – Оценка первоначального числа ошибок

Закон распределения	N=30	N=24	N=18
Равномерный	587.56	352.49	208.96
Экспоненциальный	327.67	308.39	197.53
Релеевский	456.47	662.33	275.65

Таблица 2 – Оценка полного времени проведения тестирования (дней)

#### Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы были исследованы показатели надёжности программ, характеризуемые моделью обнаружения ошибок Джелинского-Моранды для различных законов распределения времён обнаружения отказов и различного числа используемых для анализа данных.