

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

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

Студент гр. 6304

Ковынев М.В.

Преподаватель

Кирияничков В.А.

Санкт-Петербург

2020

## Формулировка задания

Выполнить исследование показателей надежности программ, характеризующих 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:  $W(y) = b*\exp(-b*y)$ ,  $y \geq 0$ , с параметром  $b=0.1$  и соответственно  $m_{\text{экср}}=s_{\text{экср}} = 1/b=10$ . 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:  $W(y) = (y/c^2)*\exp(-y^2/(2*c^2))$ ,  $y \geq 0$ , 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 работы

### 1. Равномерный закон распределения

а. 100 % при  $n = 30$

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
0.184	0.648	1.327	5.011	5.878	7.066	7.996	8.357	10.486	10.719
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
10.850	10.970	11.400	11.536	11.753	11.905	12.027	12.347	12.481	12.878
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
13.851	14.131	14.356	14.957	15.925	16.190	17.589	17.643	18.670	19.876

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 15.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 19.136$$

$$19.136 > 15.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
<b>f</b>	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035	1.863	1.725	1.609	1.510	1.425
<b>g</b>	2.529	2.332	2.164	2.018	1.891	1.779	1.679	1.590	1.510	1.438
<b> f – g </b>	1.466	0.695	0.395	0.237	0.144	0.085	0.045	0.018	0.000	0.013

Минимум при  $m = 39$ ,  $B = 39 - 1 = 38$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (B-i+1) * X_i} = \frac{n}{(B+1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.004455$$

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>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>
$\hat{X}_i$	28.059	32.067	37.412	44.894	56.118	74.824	112.235	224.471

Время до полного завершения тестирования: 610.08

Полное время тестирования: 949.087

б. 80 % при n = 24

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
0.708	1.566	2.632	2.893	3.827	4.151	4.418	4.814	5.257	6.269
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
6.323	7.749	9.545	10.467	10.967	12.624	13.794	13.997	15.516	16.390
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>						
16.618	16.851	19.504	19.588						

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 12.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 16.752$$

$$16.752 > 12.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>
<b>f</b>	3.776	2.816	2.354	2.058
<b>g</b>	2.910	2.595	2.342	2.134

$ \mathbf{f} - \mathbf{g} $	0.866	0.221	0.012	0.076
-----------------------------	-------	-------	-------	-------

Минимум при  $m = 27$ ,  $B = 27 - 1 = 26$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.010342$$

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>31</b>	<b>32</b>
$\hat{X}_i$	48.349	96.698

Время до полного завершения тестирования: 145.046

Полное время тестирования: 371.514

с. 60 % при  $n = 18$

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1.002	1.162	1.257	2.619	2.721	3.760	9.988	11.263	12.410	13.045
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>		
13.639	14.200	16.232	16.616	18.483	18.651	18.904	19.728		

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n + 1}{2} = 9.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 12.633$$

$$12.633 > 9.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
<b>f</b>	3.495	2.548	2.098	1.812
<b>g</b>	2.827	2.443	2.151	1.922
<b>  f – g  </b>	0.668	0.104	0.054	0.110

Минимум при m = 21, B = 21 – 1 = 20

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B}-i+1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B}+1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.010995$$

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>19</b>	<b>20</b>
$\hat{X}_i$	45.477	90.954

Время до полного завершения тестирования: 136.432

Полное время тестирования: 332.112

## 2. Экспоненциальный закон распределения

а. 100 % при n = 30

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
0.386	1.610	1.639	2.273	2.423	3.340	3.952	6.698	6.703	7.003
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
7.227	9.353	9.422	9.514	10.249	10.368	11.830	12.785	14.103	15.706
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
15.791	16.402	16.677	17.028	22.811	25.593	26.834	29.984	34.657	34.834

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 15.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 21.633$$

$$21.633 > 15.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>
<b>f</b>	3.995	3.027	2.558	2.255
<b>g</b>	3.203	2.894	2.639	2.426
<b>  f – g  </b>	0.792	0.133	0.081	0.170

Минимум при  $m = 33$ ,  $B = 33 - 1 = 32$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B}-i+1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B}+1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.006816$$

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>31</b>	<b>32</b>
<b><math>\hat{X}_i</math></b>	73.353	146.706

Время до полного завершения тестирования: 220.059

Полное время тестирования: 607.254

б. 80 % при  $n = 24$

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
0.105	0.333	0.515	1.042	1.407	2.718	2.853	3.602	5.084	5.552
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
7.200	7.732	7.972	8.014	10.184	10.202	10.544	10.591	17.534	22.207



<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>						
24.503	31.358	34.233	34.856						

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 12.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 18.665$$

$$18.665 > 12.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>25</b>	<b>26</b>
<b>f</b>	3.776	2.816
<b>g</b>	3.788	3.272
<b>  f – g  </b>	0.012	0.456

Минимум при  $m = 25$ ,  $B = 25 - 1 = 24$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B}-i+1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B}+1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.014552$$

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>
$\hat{X}_i$

Время до полного завершения тестирования: 0

Полное время тестирования: 260.341

с. 60 % при n = 18

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
0.191	0.868	1.162	1.183	1.517	2.444	2.466	2.467	2.480	3.363
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>		
4.016	6.291	7.278	10.240	10.905	11.263	15.856	19.672		

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 9.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 13.992$$

$$13.992 > 9.5$$

Найдем m >= n + 1

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

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

<b>m</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>f</b>	3.495	2.548
<b>g</b>	3.594	2.996
<b>  f – g  </b>	0.099	0.448

Минимум при m = 19, B = 19 – 1 = 18

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\widehat{B}-i+1) * X_i} = \frac{n}{(\widehat{B}+1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.034671$$

Среднее время  $\widehat{X}_{n+1}$

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

<b>i</b>
$\widehat{X}_i$

Время до полного завершения тестирования: 0

Полное время тестирования: 103.662

### 3. Релеевский закон распределения

а. 100 % при  $n = 30$

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1.193	1.526	3.579	4.404	5.061	5.381	6.572	6.743	6.841	7.145
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
7.232	7.238	7.272	7.422	7.672	8.250	8.779	8.933	10.000	11.575
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
12.277	12.443	12.574	13.753	13.788	14.588	15.439	17.254	20.158	21.544

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 15.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 19.789$$

$$19.789 > 15.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>
<b>f</b>	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035	1.863	1.725
<b>g</b>	2.676	2.457	2.271	2.111	1.972	1.851	1.743
<b>  f – g  </b>	1.319	0.570	0.288	0.144	0.063	0.013	0.019

Минимум при  $m = 36$ ,  $B = 36 - 1 = 35$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\widehat{B}-i+1) * X_i} = \frac{n}{(\widehat{B}+1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.006456$$

Среднее время  $\widehat{X}_{n+1}$

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

<b>i</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>
$\widehat{X}_i$	30.977	38.721	51.629	77.443	154.886

Время до полного завершения тестирования: 353.656

Полное время тестирования: 640.292

б. 80 % при n = 24

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1.814	2.004	2.270	2.501	3.156	5.907	6.108	7.745	9.358	9.815
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
10.252	10.313	11.157	11.488	11.984	12.498	13.526	15.077	15.384	16.395
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>						
17.437	17.689	19.999	22.261						

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n+1}{2} = 12.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 16.219$$

$$16.219 > 12.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>f</b>	3.776	2.816	2.354	2.058	1.844
<b>g</b>	2.733	2.454	2.226	2.037	1.878
<b>  f – g  </b>	1.043	0.362	0.128	0.021	0.034

Минимум при  $m = 28$ ,  $B = 28 - 1 = 27$

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\bar{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\bar{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.007953$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

<b>i</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>
$\hat{X}_i$	41.912	62.869	125.737

Время до полного завершения тестирования: 230.518

Полное время тестирования: 486.656

с. 60 % при  $n = 18$

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1.922	2.241	3.708	5.362	6.213	6.752	7.031	7.991	9.677	10.020
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>		
10.723	15.219	15.269	16.783	18.665	18.683	19.630	19.890		

Проверка существования максимума:

$$A > \frac{n + 1}{2} = 9.5$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n i * X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 12.339$$

$$12.339 > 9.5$$

Найдем  $m \geq n + 1$

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

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

<b>m</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
<b>f</b>	3.495	2.548	2.098	1.812
<b>g</b>	2.702	2.349	2.078	1.863
<b>  f – g  </b>	0.793	0.198	0.020	0.051

Минимум при m = 21, B = 21 – 1 = 20

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\hat{B} - i + 1) * X_i} = \frac{n}{(\hat{B} + 1) * \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n i * X_i} = 0.010615$$

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>19</b>	<b>20</b>
<b><math>\hat{X}_i</math></b>	47.103	94.205

Время до полного завершения тестирования: 141.308

Полное время тестирования: 337.087

#### 4. Результаты

##### 4.1. Оценка первоначального числа ошибок

	Равномерный	Экспоненциальный	Релеевский
n = 30	38	32	35
n = 24	26	24	27
n = 18	20	18	20

##### 4.2. Оценка полного времени проведения тестирования

	Равномерный	Экспоненциальный	Релеевский
n = 30	949.087	607.254	640.292
n = 24	371.514	260.341	486.656

n = 18	332.112	103.662	337.087
--------	---------	---------	---------

4.3. Экспоненциальный закон распределения показывает наилучшие результаты по двум оценкам сразу при любых входных данных, так как по предположению модели Джелински-Моранды время до следующего отказа программы распределено экспоненциально.

Релеевское распределение демонстрирует наихудшие результаты полного времени проведения тестирования при 60% и 80% входных данных, однако в плане оценки первоначального числа ошибок сравнимо с равномерным. При 100% входных данных наихудший результат показывает равномерное распределение по двум оценкам сразу.

## Вывод

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