

**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

\_\_\_\_\_

Пэтайчук Н.Г.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Ефремов М.А.

Санкт-Петербург

2021

## Цель работы.

Изучение параметров надежности программ по временным моделям обнаружения ошибок, в частности с использованием модели Джелински-Моранды.

## Постановка задачи.

Необходимо 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:
  - a. равномерным законом распределения в интервале  $[0, 20]$ ; при этом средний интервал между ошибками будет  $m_{\text{равн}} = 10$ , СКО  $s_{\text{равн}} = 20/(2*\sqrt{3}) = 5.8$ .
  - b. экспоненциальным законом распределения  $W(y) = b*\exp(-b*y)$ ,  $y \geq 0$ , с параметром  $b = 0.1$  и соответственно  $m_{\text{эксп}} = s_{\text{эксп}} = 1/b = 10$ .
  - c. релеевским законом распределения  $W(y) = (y/c^2)*\exp(-y^2/(2*c^2))$ ,  $y \geq 0$ , с параметром  $c = 8.0$  и соответственно  $m_{\text{рел}} = c*\sqrt{\pi/2}$ ,  $s_{\text{рел}} = c*\sqrt{2 - \pi/2}$ .
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). 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. Равномерное распределение,  $n = 30$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 1:

i	N	i	N	i	N
1	0.743	11	6.562	21	13.689
2	0.772	12	7.196	22	13.847
3	1.056	13	7.392	23	14.118
4	1.685	14	7.641	24	16.027
5	1.828	15	8.858	25	16.489
6	2.933	16	9.878	26	17.654
7	3.087	17	10.581	27	17.666
8	5.886	18	10.979	28	17.889
9	6.113	19	11.303	29	17.944
10	6.246	20	12.291	30	18.868

Таблица 1: Сгенерированные значения (равномерное распределение,  $n = 30$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A > (n + 1) / 2,$$

Воспользуемся следующей формулой для вычисления A:

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

$$A = 20.73 > 15.5 = (n + 1) / 2.$$

$m \geq n + 1$ , формулы для вычисления f и g:

$$f_n(m) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m-i}; \quad g_n(m, A) = \frac{n}{m-A};$$

Вычисление m, f и g представлено на Таблице 2:

<b>m</b>	31	32	33	34	35
<b>f</b>	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035
<b>g</b>	2.921	2.662	2.445	2.261	2.102
<b> f – g </b>	1.074	0.365	0.113	0.006	0.067

Таблица 2: Вычисление m, f и g (равномерное распределение, n = 30)

$$m = 34, \text{ значит } \hat{B} = m - 1 = 33.$$

Вычисление K будет происходить по формуле:

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

$$K = 0.007868.$$

Оценка значений средних времен  $X_j$  будет произведено по формуле:

$$X_{n+1} = \frac{1}{\hat{z}(t_n)} = \frac{1}{\hat{K}(\hat{B} - n)}.$$

Средние времена до обнаружения k = 3 следующих ошибок (n = 30,  $\hat{B} = 33$ ) представлено в Таблице 3:

j	Xj
31	42.366
32	63.549
33	127.097

Таблица 3: Средние времена до обнаружения  $k = 3$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 233.012

Полное время: 520.233

В дальнейшем для вычисления соответствующих величин будут использоваться те же формулы, что и в этом разделе.

## 2. Равномерное распределение, $n = 24$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 4:

i	N	i	N	i	N
1	1.163	9	7.957	17	11.036
2	1.917	10	8.002	18	11.675
3	3.524	11	8.692	19	13.315
4	3.989	12	8.903	20	14.205
5	4.812	13	9.862	21	14.464
6	6.212	14	10.011	22	17.241
7	6.444	15	10.116	23	17.349
8	6.568	16	10.628	24	19.800

Таблица 4: Сгенерированные значения (равномерное распределение,  $n = 24$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 15.92 > 12.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 5:

<b>m</b>	25	26	27	28	29	30
<b>f</b>	3.776	2.816	2.354	2.058	1.844	1.678
<b>g</b>	2.643	2.381	2.166	1.987	1.835	1.705

$ f - g $	1.133	0.435	0.188	0.071	0.009	0.027
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Таблица 5: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (равномерное распределение,  $n = 24$ )

$m = 29$ , значит  $\hat{B} = m - 1 = 28$ .

$K = 0.008049$ .

Средние времена до обнаружения  $k = 4$  следующих ошибок ( $n = 24$ ,  $\hat{B} = 28$ ) представлено в Таблице 6:

$j$	$X_j$
25	31.060
26	41.413
27	62.120
28	124.239

Таблица 6: Средние времена до обнаружения  $k = 4$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 258.832

Полное время: 486.717

### 3. Равномерное распределение, $n = 18$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 7:

$i$	$N$	$i$	$N$	$i$	$N$
1	0.194	7	8.408	13	17.163
2	1.574	8	8.750	14	17.296
3	2.705	9	9.816	15	17.617
4	2.993	10	13.054	16	17.709
5	6.508	11	15.044	17	18.085
6	7.447	12	16.446	18	19.360

Таблица 7: Сгенерированные значения (равномерное распределение,  $n = 18$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$A = 12.39 > 9.5 = (n + 1) / 2$ .

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 8:

<b>m</b>	19	20	21	22
<b>f</b>	3.495	2.548	2.098	1.812
<b>g</b>	2.723	2.365	2.091	1.873
<b> f – g </b>	0.772	0.183	0.007	0.061

Таблица 8: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (равномерное распределение,  $n = 18$ )

$m = 21$ , значит  $\hat{B} = m - 1 = 20$ .

$K = 0.010444$ .

Средние времена до обнаружения  $k = 2$  следующих ошибок ( $n = 18$ ,  $\hat{B} = 20$ ) представлено в Таблице 9:

<b>j</b>	<b>Xj</b>
19	47.874
20	95.749

Таблица 9: Средние времена до обнаружения  $k = 2$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 143.623

Полное время: 343.772

#### 4. Экспоненциальное распределение, $n = 30$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 10:

<b>i</b>	<b>N</b>	<b>i</b>	<b>N</b>	<b>i</b>	<b>N</b>
1	0.017	11	6.360	21	17.213
2	0.878	12	6.506	22	17.978
3	1.065	13	6.82	23	18.979
4	1.350	14	6.927	24	20.520
5	1.512	15	7.100	25	21.315
6	1.522	16	7.227	26	21.712
7	1.917	17	9.363	27	22.098
8	2.921	18	9.366	28	23.209

9	3.596	19	13.854	29	28.064
10	4.181	20	16.445	30	32.705

Таблица 10: Сгенерированные значения (экспоненциальное распределение,  $n = 30$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 22.36 > 15.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 11:

<b>m</b>	31	32	33
<b>f</b>	3.995	3.027	2.558
<b>g</b>	3.472	3.112	2.820
<b> f – g </b>	0.523	0.085	0.262

Таблица 11: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (экспоненциальное распределение,  $n = 30$ )

$$m = 32, \text{ значит } \hat{B} = m - 1 = 31.$$

$$K = 0.00935.$$

Средние времена до обнаружения  $k = 1$  следующих ошибок ( $n = 30$ ,  $\hat{B} = 31$ ) представлено в Таблице 12:

<b>j</b>	<b>Xj</b>
31	106.952

Таблица 12: Средние времена до обнаружения  $k = 1$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 106.952

Полное время: 439.672

##### 5. Экспоненциальное распределение, $n = 24$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 13:

<b>i</b>	<b>N</b>	<b>i</b>	<b>N</b>	<b>i</b>	<b>N</b>
1	0.416	9	3.765	17	6.835
2	0.903	10	3.869	18	8.779



3	2.326	11	4.367	19	12.840
4	2.500	12	4.411	20	12.957
5	2.925	13	5.051	21	14.309
6	3.101	14	5.829	22	14.518
7	3.265	15	6.382	23	15.147
8	3.421	16	6.823	24	23.706

Таблица 13: Сгенерированные значения (экспоненциальное распределение,  $n = 24$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 17.47 > 12.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 14:

<b>m</b>	25	26	27
<b>f</b>	3.776	2.816	2.354
<b>g</b>	3.187	2.814	2.518
<b> f – g </b>	0.589	0.002	0.164

Таблица 14: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (экспоненциальное распределение,  $n = 24$ )

$$m = 26, \text{ значит } \hat{B} = m - 1 = 25.$$

$$K = 0.016705.$$

Средние времена до обнаружения  $k = 1$  следующих ошибок ( $n = 24$ ,  $\hat{B} = 25$ ) представлено в Таблице 15:

<b>j</b>	<b>Xj</b>
25	59.862

Таблица 15: Средние времена до обнаружения  $k = 1$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 59.862

Полное время: 228.307

6. Экспоненциальное распределение,  $n = 18$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 16:

i	N	i	N	i	N
1	0.215	7	5.732	13	14.334
2	1.213	8	5.990	14	15.081
3	2.139	9	6.578	15	19.681
4	2.720	10	7.602	16	25.227
5	4.240	11	10.882	17	33.823
6	5.495	12	12.866	18	36.513

Таблица 16: Сгенерированные значения (экспоненциальное распределение,  $n = 18$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 13.79 > 9.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 17:

<b>m</b>	19	20
<b>f</b>	3.495	2.548
<b>g</b>	3.455	2.899
<b> f – g </b>	0.040	0.351

Таблица 17: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (экспоненциальное распределение,  $n = 18$ )

$$m = 19, \text{ значит } \hat{B} = m - 1 = 18.$$

$$\hat{B} = n, \text{ значит время до полного завершения тестирования: } 0.$$

Полное время: 210.331

7. Релеевское распределение,  $n = 30$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 18:

i	N	i	N	i	N
1	1.084	11	7.445	21	11.311
2	4.601	12	7.642	22	11.533

3	5.308	13	7.896	23	11.882
4	5.643	14	8.190	24	12.237
5	5.887	15	8.277	25	12.451
6	6.071	16	8.322	26	16.552
7	6.136	17	8.399	27	19.217
8	6.424	18	9.238	28	20.111
9	6.623	19	9.421	29	20.118
10	7.296	20	9.489	30	20.187

Таблица 18: Сгенерированные значения (релеевское распределение,  $n = 30$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 19.45 > 15.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 19:

<b>m</b>	31	32	33	34	35	36	37	38	39
<b>f</b>	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035	1.863	1.725	1.609	1.510
<b>g</b>	2.597	2.390	2.214	2.062	1.929	1.813	1.709	1.617	1.535
<b> f – g </b>	1.398	0.637	0.344	0.193	0.106	0.050	0.016	0.008	0.025

Таблица 19: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (релеевское распределение,  $n = 30$ )

$$m = 38, \text{ значит } \hat{B} = m - 1 = 37.$$

$$K = 0.005484.$$

Средние времена до обнаружения  $k = 7$  следующих ошибок ( $n = 30$ ,  $\hat{B} = 37$ ) представлено в Таблице 20:

<b>j</b>	<b>Xj</b>
31	26.050
32	30.391
33	36.470
34	45.587
35	60.783

36	91.174
37	182.349

Таблица 20: Средние времена до обнаружения  $k = 7$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 472.804

Полное время: 767.785

8. Релеевское распределение,  $n = 24$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлено на Таблице 21:

i	N	i	N	i	N
1	2.271	9	8.173	17	12.646
2	4.458	10	8.334	18	13.558
3	6.584	11	8.447	19	14.504
4	6.623	12	9.227	20	14.766
5	7.069	13	9.557	21	15.804
6	7.149	14	10.381	22	16.491
7	7.157	15	10.555	23	19.778
8	7.579	16	12.591	24	21.545

Таблица 21: Сгенерированные значения (релеевское распределение,  $n = 24$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 15.41 > 12.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 22:

<b>m</b>	25	26	27	28	29	30	31	32
<b>f</b>	3.776	2.816	2.354	1.844	2.058	1.678	1.545	1.434
<b>g</b>	2.503	2.266	2.071	1.906	1.766	1.645	1.539	1.447
<b> f – g </b>	1.273	0.550	0.283	0.152	0.078	0.033	0.006	0.013

Таблица 22: Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  (релеевское распределение,  $n = 24$ )

$$m = 31, \text{ значит } \hat{B} = m - 1 = 30.$$

$$K = 0.00603.$$

Средние времена до обнаружения  $k = 6$  следующих ошибок ( $n = 24$ ,  $\hat{B} = 30$ ) представлено в Таблице 23:

j	Xj
25	27.64
26	33.167
27	41.459
28	55.279
29	82.919
30	165.837

Таблица 23: Средние времена до обнаружения  $k = 6$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 406.301

Полное время: 661.578

#### 9. Релеевское распределение, $n = 18$ :

Отсортированные сгенерированные значения представлена на Таблице 24:

i	N	i	N	i	N
1	1.605	7	6.935	13	11.137
2	5.516	8	7.711	14	11.273
3	6.363	9	9.963	15	12.460
4	6.728	10	9.963	16	13.745
5	6.834	11	10.373	17	21.425
6	6.877	12	11.017	18	24.917

Таблица 24: Сгенерированные значения (релеевское распределение,  $n = 18$ )

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

$$A = 11.91 > 9.5 = (n + 1) / 2.$$

Вычисление  $m$ ,  $f$  и  $g$  представлено на Таблице 25:

<b>m</b>	19	20	21	22	23	24
<b>f</b>	3.495	2.548	2.098	1.812	1.607	1.451
<b>g</b>	2.539	2.225	1.980	1.784	1.623	1.489
<b> f – g </b>	0.956	0.323	0.118	0.028	0.016	0.038

Таблица 25: Вычисление m, f и g (релеевское распределение, n = 18)

$m = 23$ , значит  $\hat{B} = m - 1 = 22$ .

$K = 0.008783$

Средние времена до обнаружения  $k = 4$  следующих ошибок ( $n = 18$ ,  $\hat{B} = 22$ ) представлено в Таблице 26:

<b>j</b>	<b>Xj</b>
19	28.464
20	37.952
21	56.928
22	113.856

Таблица 26: Средние времена до обнаружения  $k = 4$  следующих ошибок

Время до полного завершения тестирования: 237.200

Полное время: 422.042

#### 10.Итоги исследования:

Оценка первоначального количества ошибок представлена в Таблице 27:

<b>Распределение</b>	<b>n = 30</b>	<b>n = 24</b>	<b>n = 18</b>
<b>Равномерное</b>	33	28	20
<b>Экспоненциальное</b>	31	25	18
<b>Релеевское</b>	37	30	22

Таблица 27: Оценка первоначального количества ошибок

Оценка полного времени проведения тестирования представлена в Таблице 28:

<b>Распределение</b>	<b>n = 30</b>	<b>n = 24</b>	<b>n = 18</b>
<b>Равномерное</b>	520.233	486.717	343.772
<b>Экспоненциальное</b>	439.672	228.307	210.331
<b>Релеевское</b>	767.785	661.578	422.042

Таблица 28: Оценка полного времени проведения тестирования

### **Выводы.**

В ходе выполнения лабораторной работы было выполнено исследование показателей надежности программ, характеризуемых моделью обнаружения ошибок Джелински-Моранды, для различных законов распределения времен обнаружения отказов и различного числа используемых для анализа данных. При всех возможных  $n$  релеевское распределение имеет худшие показатели, после него идёт равномерное распределение. Экспоненциальный закон распределения оказался лучшим по всем характеристикам при всех возможных  $n$ , подтверждая предположение, что «время до следующего отказа программы распределено экспоненциально».