

**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

Моторин Е.В.

Преподаватель

Ефремов М.А.

Санкт-Петербург

2021

## Задание

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

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

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

$$W(y) = (y/c^2) * \exp(-y^2/(2*c^2)), \quad y \geq 0, \text{ с параметром } c=8.0 \text{ и}$$

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.

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 а.

100% ( $n = 30$ )

i	X	i	X	i	X
1	0.086	11	4.811	21	13.680
2	0.144	12	5.499	22	13.830
3	0.622	13	5.845	23	14.558
4	1.603	14	7.351	24	15.517

5	1.645	15	8.710	25	16.221
6	1.709	16	10.603	26	17.101
7	2.856	17	11.533	27	18.045
8	3.436	18	11.711	28	18.054
9	4.378	19	12.031	29	18.958
10	4.447	20	12.890	30	19.635

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 21.37$$

$$21.37 > 15.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	31	32	33	34	35	36
f	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035	1.863
g	3.115	2.822	2.580	2.375	2.201	2.051
f-g	0.88	0.205	0.021	0.120	0.166	0.187

$$m = 33 \Rightarrow B = m - 1 = 32$$

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

$$K = 0.009$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	31	32
Xi	53.789	107.578

Время до полного завершения тестирования 161.368

Полное время: 438.872

b. 80% (n = 24)

i	X	i	X	i	X
1	0.076	9	3.953	17	12.086
2	0.772	10	4.213	18	12.887
3	1.406	11	5.106	19	12.911
4	2.281	12	6.223	20	15.905
5	3.016	13	7.005	21	17.707
6	3.070	14	11.391	22	18.183
7	3.786	15	11.571	23	18.426
8	3.913	16	11.815	24	18.860

Проверка существования максимума  $B^*$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iXi}{\sum_{i=1}^n Xi} = 17.317$$

$$17.317 > 12.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	25	26	27	28	29	30
f	3.776	2.816	2.354	2.058	1.844	1.678
g	3.124	2.764	2.479	2.247	2.054	1.892
f-g	0.652	0.052	0.124	0.189	0.211	0.214

$$m = 26 \Rightarrow B = m - 1 = 25$$

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

$$K = 0.013$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	25
Xi	74.728

Время до полного завершения тестирования 74.728

Полное время: 281.289

с. 60% (n = 18)

i	X	i	X	i	X
1	0.993	7	7.871	13	14.569
2	3.707	8	7.931	14	14.788
3	5.204	9	8.826	15	14.907
4	7.071	10	11.489	16	17.906
5	7.762	11	11.844	17	18.077
6	7.834	12	12.547	18	18.989

Проверка существования максимума  $B^*$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 11.894$$

$$11.894 > 9.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	19	20	21	22	23	24
f	3.495	2.548	2.098	1.812	1.607	1.451
g	2.533	2.221	1.977	1.781	1.621	1.487
f-g	0.962	0.327	0.121	0.031	0.013	0.036

$$m = 23 \Rightarrow B = m - 1 = 22$$

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

$$K = 0.008$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	19	20	21	22
Xi	29.664	39.551	59.327	118.654

Время до полного завершения тестирования 247.197

Полное время: 439.513

2) Экспоненциальный закон а.

100% (n = 30)

i	X	i	X	i	X
1	1.712	11	7.243	21	16.086
2	3.176	12	7.678	22	17.746
3	3.217	13	8.213	23	19.471
4	3.653	14	9.136	24	22.127
5	3.745	15	9.886	25	23.196
6	3.850	16	10.001	26	25.312
7	3.858	17	11.693	27	26.903
8	4.233	18	11.801	28	29.961
9	4.234	19	15.489	29	30.027
10	5.010	20	15.942	30	35.823

Проверка существования максимума  $B^*$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iXi}{\sum_{i=1}^n Xi} = 21.562$$

$$21.562 > 15.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	31	32	33	34	35	36
f	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035	1.863
g	3.179	2.874	2.623	2.412	2.232	2.078



f-g	0.816	0.153	0.064	0.156	0.198	0.214
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$m = 33 \Rightarrow B = m - 1 = 32$$

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

$$K = 0.007$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	31	32
Xi	71.428	148.856

Время до полного завершения тестирования 223.284

Полное время: 613.706

b. 80% (n = 24)

i	X	i	X	i	X
1	1.121	9	3.208	17	9.115
2	1.331	10	3.964	18	9.386
3	1.394	11	4.727	19	10.724
4	1.467	12	4.917	20	11.828
5	1.532	13	5.192	21	29.284
6	2.317	14	5.266	22	34.721
7	2.483	15	5.635	23	36.223
8	2.601	16	6.244	24	45.823

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 19.354$$

$$19.354 > 12.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	25	26	27	28	29	30
f	3.776	2.816	2.354	2.058	1.844	1.678
g	4.251	3.611	3.139	2.776	2.488	2.254
f-g	0.475	0.795	0.784	0.718	0.644	0.576

$$m = 25 \Rightarrow B = m - 1 = 24$$

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

$$K = 0.018$$

Время до полного завершения тестирования 0

Полное время: 240.522

с. 60% (n = 18)

i	X	i	X	i	X
1	0.005	7	3.370	13	12.910
2	1.563	8	4.344	14	13.836
3	1.639	9	4.641	15	16.226

4	1.756	10	4.830	16	16.509
5	2.264	11	7.487	17	17.479
6	2.381	12	11.793	18	25.071

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 13.706$$

$$13.706 > 9.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	19	20	21	22	23	24
f	3.495	2.548	2.098	1.812	1.607	1.451
g	3.340	2.860	2.468	2.170	1.937	1.749
f-g	0.095	0.312	0.370	0.358	0.329	0.298

$$m = 19 \Rightarrow B = m - 1 = 18$$

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

$$K = 0.023$$

Время до полного завершения тестирования 0

Полное время: 148.151

### 3) Релеевский закон

а. 100% (n = 30)

i	X	i	X	i	X
1	1.940	11	7.493	21	13.664
2	3.423	12	7.507	22	13.682
3	4.189	13	8.941	23	15.533
4	4.322	14	10.249	24	17.528
5	4.337	15	10.427	25	17.563
6	4.905	16	10.616	26	17.661
7	5.733	17	11.626	27	19.329
8	6.629	18	11.529	28	21.985
9	6.767	19	12.535	29	24.481
10	7.326	20	13.131	30	30.022

Проверка существования максимума  $B^*$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 20.271$$

$$20.271 > 15.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	31	32	33	34	35	36
f	3.995	3.027	2.558	2.255	2.035	1.863
g	2.796	2.558	2.357	2.185	2.037	1.907
f-g	1.199	0.470	0.202	0.070	0.002	0.044

$$m = 35 \Rightarrow B = m - 1 = 34$$

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

$$K = 0.006$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	31	32	33	34
Xi	42.311	56.414	84.621	169.243

Время до полного завершения тестирования 352.589

Полное время: 697.3

b. 80% (n = 24)

i	X	i	X	i	X
1	1.417	9	7.806	17	12.402
2	3.390	10	7.981	18	13.465
3	5.705	11	8.520	19	15.472
4	6.599	12	8.742	20	15.559
5	6.917	13	8.771	21	15.909
6	6.974	14	9.922	22	19.638
7	7.372	15	10.369	23	21.993
8	7.457	16	11.710	24	22.586

Проверка существования максимума  $\hat{B}$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 15.804$$

$$15.804 > 12.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	25	26	27	28	29	30	31
f	3.776	2.816	2.354	2.058	1.844	1.678	1.545
g	2.610	2.354	2.144	1.968	1.819	1.691	1.579
f-g	1.166	0.462	0.211	0.090	0.025	0.012	0.034

$$m = 30 \Rightarrow B = m - 1 = 29$$

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

$$K = 0.007$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	25	26	27	28	29
Xi	30.37	37.962	50.616	75.924	151.848

Время до полного завершения тестирования 346.719

Полное время: 603.440

с. 60% (n = 18)

i	X	i	X	i	X
1	0.716	7	7.541	13	9.344
2	1.195	8	7.697	14	9.519
3	2.805	9	7.755	15	10.114
4	5.363	10	7.778	16	10.162
5	6.340	11	8.201	17	13.283
6	7.162	12	8.663	18	13.389

Проверка существования максимума  $B^*$ :

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

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n iX_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = 11.674$$

$$11.674 > 9.5$$

Найдём  $m \geq n+1$ :

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

m	19	20	21	22	23	24	25
f	3.495	2.548	2.098	1.812	1.607	1.451	1.326
g	2.457	2.162	1.930	1.743	1.589	1.460	1.351
f-g	1.038	0.386	0.168	0.069	0.018	0.009	0.025

$$m = 24 \Rightarrow B = m - 1 = 23$$

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

$$K = 0.005143$$

Среднее время  $\hat{X}_{n+1}$

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

i	19	20	21	22	23
Xi	18.767	23.459	31.279	46.918	93.837

Время до полного завершения тестирования 214.260

Полное время: 351.288

#### 4) Итоговые таблицы

##### а. Оценки первоначального числа ошибок

Закон распределения	n = 30	n = 24	n = 18
Равномерный	32	25	22
Экспоненциальный	32	24	18
Релеевский	34	29	23

##### б. Оценки полных времен проведения тестирования

Закон распределения	n = 30	n = 24	n = 18
Равномерный	438.872	281.289	439.513
Экспоненциальный	613.706	240.522	148.151
Релеевский	697.300	603.440	351.288

##### с. Анализ

Релеевский закон показал худшие результаты работы по обеим показателям, лучшие результаты показал экспоненциальный закон. Это должно согласоваться с предположением об экспоненциальном характере распределения времени до следующего отказа работы программы.



Тем не менее, из-за небольшого объема выборки результаты нестабильные и сильно изменяются при пересчёте файла, что не позволяет сделать однозначный вывод из вышеописанного эксперимента.

### **Выводы**

В результате выполнения данной лабораторной работы было выполнено исследование показателей надежности программ, характеризуемых моделью обнаружения ошибок Джелински-Морданы, для различных законов распределения времен обнаружения отказов и различного числа используемых для анализа данных.