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. 8304 ________________ Холковский К. В.

Преподаватель ________________ Ефремов М. А.

Санкт-Петербург

2022

Цель работы.

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.

Задание.

1. Сгенерировать массивы данных $\{X_i\}$, где X_i – случайное значение интервала между соседними $(i-1)$–ой и i–ой ошибками ($i = [1{,}30]$), 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 $m_{\text{эксп}} = s_{\text{эксп}} = 1/b = 10$. 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: $Y = -ln(t)/b$;
   c. Релеевским законом распределения $W(y) = (y/c^2) * exp(-y^2/(2 * c^2))$, $y >= 0$, 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: $Y = \text{c} * sqrt(-2 * ln(t))$.
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 B. 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.**

100% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 30-ти элементов, равномерно распределенных в интервале $[0{,}20]$ (см. Таблица 1).

Таблица 1 – Равномерное распределение при $n = 30$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_i	0.725	0.726	1.189	1.217	4.302	4.770	5.696	6.760	6.915	7.163
i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	9.379	9.400	9.985	10.882	11.199	11.226	11.351	11.752	12.955	14.029
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
X_i	14.514	17.088	17.948	18.388	18.611	19.347	19.424	19.475	19.497	19.663

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 20.245 > 15.5 \text{ условие сходимости выполнено.}$$

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-i}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$(см. Таблица 2).

Таблица 2 – Значения функций для равномерного распределения при n = 30.

m	31	32	33	34	**35**	36
f	3.994	3.027	2.558	2.255	**2.034**	1.863
g	2.789	2.552	2.351	2.180	**2.033**	1.904
|f-g|	1.205	0.475	0.207	0.075	**0.001**	0.041

Минимум разности достигается при $m = 35$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 34$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00606$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Время обнаружения следующих ошибок для равномерного распределения при n = 30.

j	31	32	33	34
X_j	41.264	55.019	82.528	165.057

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 343.867$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{общ} = 679.456$ дней.

80% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 24-ти элементов, равномерно распределенных в интервале $[0,20]$(см Таблица 4).

Таблица 4 – Равномерное распределение, $n = 24$.

i	1	2	3	4	5	6	7	8
X_i	1.560	1.713	1.736	2.535	3.062	3.412	3.713	4.423
i	9	10	11	12	13	14	15	16
X_i	4.557	4.825	4.980	5.543	7.397	9.267	10.607	11.045
i	17	18	19	20	21	22	23	24
X_i	13.172	14.349	16.240	16.600	16.957	17.873	19.013	19.455

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 17.128 > 12.5$$ – условие сходимости выполнено.

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$ (см. Таблица 5)

Таблица 5 – Расчёт значений функций для равномерного распределения n = 24.

m	25	26	**27**	28
f	3.775	2.815	**2.354**	2.058
g	3.048	2.705	**2.431**	2.207
$\|f\text{-}g\|$	0.727	0.110	**0.077**	0.149

Минимум разности достигается при $m = 27$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 26$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.01135$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n + 1, n + 2 \dots, n + k$. Результат представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет времени обнаружения следующих ошибок для равномерного распределения при n = 24.

j	25	26
X_j	44.020	88.041

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 132.062$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{\text{общ}} = 346.106$ дней.

60% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 18-ти элементов, равномерно распределенных в интервале $[0,20]$(см Таблица 7).

Таблица 7 – Равномерное распределение при $n = 18$.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	2.303	3.365	5.212	5.411	5.727	5.827	6.066	9.460	10.190
i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X_i	10.837	10.942	12.391	12.412	15.712	16.309	17.184	17.199	19.876

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 12.059 > 9.5 \text{ условие сходимости выполнено}$$

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$(см. Таблица 8)

Таблица 8 – Значения функций для равномерного распределения при n=18.

m	19	20	21	**22**	23
f	3.495	2.547	2.097	**1.812**	1.607
g	2.593	2.266	2.013	**1.810**	1.645
$\lvert f-g \rvert$	0.901	0.280	0.084	**0.001**	0.037

Минимум разности достигается при $m = 22$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 21$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00971$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Время обнаружения следующих ошибок для равномерного распределения при n = 18.

j	19	20	21
X_j	34.317	51.476	102.953

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 188.747$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{общ} = 375.178$ дней.

2. **Экспоненциальный закон распределения.**

100% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 30-ти элементов, распределенных по экспоненциальному закону с параметром $b = 0.1$. Значения случайной величины Y с экспоненциальным законом распределения с параметром «b» были получены по значениям случайной величины t, равномерно распределенной в интервале $[0,1]$, по формуле: $Y = -ln(t)/b$(см Таблица 10).

Таблица 10 – Экспоненциальное распределение при $n = 30$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_i	0.405	0.777	1.085	1.590	3.972	5.638	6.408	6.855	9.540	10.775
i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	11.358	11.604	12.000	12.101	12.826	12.906	14.081	14.158	15.127	17.361
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
X_i	19.286	19.851	21.038	26.208	28.266	28.426	32.520	39.269	41.410	48.858

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} => 15.5$$ – условие сходимости выполнено

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$(см Таблица 11).

Таблица 11 – Значения функций для экспоненциального распределения при n = 30.

m	31	32	**33**	34
f	3.995	3.027	**2.558**	2.255
g	3.212	2.901	**2.645**	2.431
$\|f-g\|$	0.782	0.125	**0.087**	0.175

Минимум разности достигается при $m = 33$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 32$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00544$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Временя обнаружения следующих ошибок для экспоненциального распределения при n = 30.

j	31	32
X_j	91.798	183.597

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 275.395$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{общ} = 761.108$ дней.

80% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 24-ти элементов, распределенных по экспоненциальному закону с параметром $b = 0.1$ (см Таблица 13).

Таблица 13 – Экспоненциальное распределение, $n = 24$.

i	1	2	3	4	5	6	7	8
X_i	0.228	1.743	2.504	4.567	6.222	7.253	7.756	7.802
i	9	10	11	12	13	14	15	16
X_i	8.286	9.270	10.921	11.242	11.3165	11.952	12.772	12.793
i	17	18	19	20	21	22	23	24
X_i	12.930	13.009	13.292	19.548	20.486	23.111	24.135	36.034

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 16.663 > 12.5 \text{ – условие сходимости выполнено}$$

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$(см. Таблица 14).

Таблица 14 – Значения функций для экспоненциального распределения при n = 24.

m	25	26	**27**	28
f	3.776	2.816	**2.354**	2.058
g	2.868	2.562	**2.315**	2.111
$\lvert f - g\rvert$	0.907	0.253	**0.039**	0.053

Минимум разности достигается при $m = 27$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 26$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00801$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Время обнаружения следующих ошибок для экспоненциального распределения при n = 24

j	25	26
X_j	62.457	124.914

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 187.371$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{\text{общ}} = 476.555$ дней.

60% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 18-ти элементов, распределенных по экспоненциальному закону с параметром $b = 0.1$ (см Таблица 16).

Таблица 16 – Экспоненциальное распределение при $n = 18$.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0.221	0.624	1.516	1.816	1.937	3.333	3.391	4.261	4.382
i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X_i	4.900	5.841	6.049	7.118	11.849	14.628	19.829	28.090	41.661

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 14.546 > 9.5 \text{ – условие сходимости выполнено}$$

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$ (см Таблица 17).

Таблица 17 – Значения функций для экспоненциального распределения при n = 18

m	**19**	20
f	**3.495**	2.547
g	**3.5485**	2.9641
$\|f\text{-}g\|$	**0.0535**	0.4171

Минимум разности достигается при $m = 19$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 18$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.02503$.

Условие $B > n$ не выполняется.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{\text{общ}} = 161.456$ дней.

3. **Релеевский закон распределения.**

100% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 30-ти элементов, распределенных по релеевскому закону с параметром $c = 8.0$. Значения случайной величины Y с релеевским законом распределения с параметром «с» были получены по значениям случайной величины t, равномерно распределенной в интервале $[0,1]$, по формуле: $Y = c * sqrt(-2 * ln(t))$ (см Таблица 18).

Таблица 18 – Релеевское распределение при $n = 30$.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_i	0.877	2.489	3.033	3.673	3.947	4.604	4.913	5.032	5.496	6.210
i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	6.283	6.452	6.723	7.110	7.457	7.459	7.779	8.946	8.955	10.177
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
X_i	12.285	12.775	12.914	13.292	14.522	16.389	18.267	23.231	23.451	25.350

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 20.763 > 15.5$$ – условие сходимости выполнено

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$ (см Таблица 19).

Таблица 19 – Значения функций для релеевского распределения при n = 30.

m	31	32	33	**34**	35
f	3.994	3.027	2.558	**2.255**	2.035
g	2.930	2.669	2.451	**2.266**	2.107
$\lvert f\text{-}g \rvert$	1.064	0.357	0.106	**0.010**	0.072

Минимум разности достигается при $m = 34$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 33$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00781$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Время обнаружения следующих ошибок для релеевского распределения при n = 30.

j	31	32	33
X_j	42.667	64.001	128.002

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 234.670$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{общ} = 524.776$ дней.

80% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 24-ти элементов, распределенных по релеевскому закону с параметром $c = 8.0$ (см Таблица 21).

Таблица 21 – Релеевское распределение при $n = 24$

i	1	2	3	4	5	6	7	8
X_i	1.754	1.930	2.130	4.046	4.098	4.172	4.959	5.747
i	9	10	11	12	13	14	15	16
X_i	6.016	6.471	7.676	7.703	8.082	8.311	11.313	11.672
i	17	18	19	20	21	22	23	24
X_i	13.061	13.223	13.632	14.591	14.870	18.423	18.466	21.240

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 16.507 > 12.5 \text{ – условие сходимости выполнено}$$

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$ (см Таблица 22).

Таблица 22 – Расчёт значений функций для релеевского распределения (80%).

m	25	26	27	**28**	29
f	3.776	2.816	2.354	**2.058**	1.844
g	2.826	2.528	2.287	**2.088**	1.921
$\lvert f-g \rvert$	0.949	0.287	0.067	**0.030**	0.077

Минимум разности достигается при $m = 28$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 27$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00933$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Время обнаружения следующих ошибок для релеевского распределения при n = 24

j	25	26	27
X_j	35.690	53.535	107.07

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 196.295$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{общ} = 419.894$ дней.

60% входных данных.

Был сгенерирован и отсортирован массив из 18-ти элементов, распределенных по релеевскому закону с параметром $c = 8.0$ (см Таблица 24).

Таблица 24 – Релеевское распределение при $n = 18$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	2.687	4.182	4.514	5.325	5.932	6.880	8.879	10.410	10.559
i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X_i	10.560	11.429	13.249	13.567	13.598	13.888	14.372	16.268	26.663

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} iX_i}{\sum_{i=1}^{n} X_i} = 11.966 > 9.5 \text{ – условие сходимости выполнено.}$$

Были вычислены значения функций $f_n(m) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m-1}$ и $g(m, A) = \frac{n}{m-A}$ (см Таблица 25).

Таблица 25 – Значения функций для релеевского распределения при n = 18.

m	19	20	21	**22**	23
f	3.495	2.548	2.098	**1.812**	1.607
g	2.559	2.240	1.992	**1.793**	1.631
$\|f\text{-}g\|$	0.935	0.307	0.105	**0.018**	0.024

Минимум разности достигается при $m = 22$. Первоначальное количество ошибок $B = m - 1 = 21$. Коэффициент $K = \frac{n}{(B+1)\sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} iX_i} = 0.00929$.

Было рассчитано среднее время обнаружения следующих ошибок $X_j = \frac{1}{K(B-j+1)}$, где $j = n+1, n+2 \dots, n+k$. Результат представлен в таблице 26.

Таблица 26 – Время обнаружения следующих ошибок для релеевского распределения при n = 18

m	19	20	21
X_j	35.855	53.782	107.565

Было рассчитано время до завершения тестирования $t_k = 197.203$ дней.

Было рассчитано общее время тестирования $t_{общ} = 390.174$ дней.

4. Результаты расчетов.

В таблицах 27 и 28 представлены сводные результаты оценки первоначального числа ошибок и полного времени проведения тестирования соответственно.

Таблица 27 – Оценка первоначального числа ошибок.

n	Входные данные, %	Распределение		
		Равномерное	Экспоненциальное	Релеевское
30	100	34	32	33
24	80	26	26	27
18	60	21	18	21

Таблица 28 – Оценка полного времени проведения тестирования.

n	Входные данные, %	Распределение		
		Равномерное	Экспоненциальное	Релеевское
30	100	679.456	761.108	524.776
24	80	346.106	476.555	419.894
18	60	375.178	161.456	390.174

Результаты при экспоненциальном распределении ниже, чем при равномерном или релеевском. Релеевское и равномерное распределения показывают примерно одинаковые результаты.

Выводы.

В ходе выполнения работы было выполнено исследование показателей надежности программ, характеризуемых моделью обнаружения ошибок Джелинского-Моранды, для различных законов распределения времен обнаружения отказов и различного числа используемых для анализа данных.