

ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО

Кафедра информационно-вычислительных систем и сетей

УТВЕРЖДАЮ

Начальник 24 кафедры

полковник

А. Басыров

«_29_» августа 2022 года

Автор: преподаватель 24 кафедры,
кандидат технических наук, доцент В. Тимофеев

Тема 3. Испытания и контроль надёжности АС

Практическое занятие

**Методика выравнивания статистического распределения и
проверки согласия теоретического и эмпирического
распределений**

по дисциплине

Надёжность автоматизированных систем

Обсуждено и одобрено на заседании 24 кафедры
« 29 » августа 2022 года протокол № 12

Санкт - Петербург

2022

Цель занятия: получение практических навыков обработки статистических данных по результатам натурных испытаний, а также проверки гипотезы о распределении вероятности безотказной работы элементов.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ И ВРЕМЯ

Введение	5 мин.
1. Разбор типового примера	40 мин.
2. Выполнение индивидуального задания	135 мин.
3. Подготовка отчета	45 мин.
4. Защита отчета о выполненной работе	40 мин.
Заключение	5 мин.

1. Обработка результатов испытаний на надежность

При проведении испытаний на надежность часто по результатам испытаний необходимо построить графики интенсивности отказов $\lambda(t)$, плотности распределения наработки до отказа $f(t)$ и функции распределения наработки до отказа $F(t)$.

Эта задача решается в 3 этапа.

На первом этапе получают статистические данные в результате испытаний или наблюдений за находящимися в реальных условиях эксплуатации объектами.

На втором этапе строят гистограммы по опытным данным и подбирают вид закона распределения интересующей случайной величины.

На третьем этапе осуществляется проверка согласия закона распределения, найденного по опытным данным, и теоретически подобранного закона.

Рассмотрим второй этап.

Пусть испытывается N изделий без восстановления отказавших изделий. Разделим весь диапазон наработки изделий на интервалы $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ и подсчитаем количество отказов m_i изделий, приходящихся на i -й интервал. Разделив результат на число объектов (изделий), оставшихся работоспособными к началу рассматриваемого интервала Δt_i , и на длину этого интервала, получим значение статистической интенсивности отказов, соответствующие данному интервалу Δt_i :

$$\lambda_i^* = \frac{m_i}{(N-r)\Delta t_i},$$

где λ_i^* – интенсивность отказов на i -м интервале, полученная по опытным данным;

N – общее число испытываемых изделий;

m_i – количество отказов изделий, приходящихся на i -й интервал;

$r = \sum_{j=1}^{i-1} m_j$ – общее число отказов изделий к началу рассматриваемого интервала;

Полученные интервалы Δt_i и соответствующие им значения m_i , λ_i^* , f_i^* , F_i^* удобно сводить в следующую таблицу:

Интервал группировки	Δt_1	Δt_2	...	Δt_i
Количество отказов (m)	m_1	m_2	...	m_i
Интенсивность отказов λ^*	$\frac{m_1}{N\Delta t_1}$	$\frac{m_2}{(N-m_1)\Delta t_2}$...	$\frac{m_i}{(N-r)\Delta t_i}$
Плотность распределения времени до отказа f^* (частота отказов)	$\frac{m_1}{N\Delta t_1}$	$\frac{m_2}{N\Delta t_2}$...	$\frac{m_i}{N\Delta t_i}$
Функция распределения времени до отказа F^*	$\frac{m_1}{N}$	$\frac{m_1 + m_2}{N}$...	$\frac{m_1 + m_2 + \dots + m_i}{N}$

Обычно возникают затруднения в определении длительности и числа интервалов Δt_i , на которые следует разбить период испытаний $[0; t]$. В этом случае можно воспользоваться эмпирической формулой, основанной на формуле Стёрджесса:

$$K = 1 + |3,33 \lg N|,$$

где K – количество интервалов,

N – количество испытываемых (отказавших) изделий:

$$\Delta t_i = \frac{t_N - t_i}{1 + |3,33 \lg N|},$$

где t_1, t_2, \dots, t_N – моменты времени наступления отказов $t_1 < t_2 < \dots < t_N$.

На основании таблицы строится график – гистограмма $\lambda^* = \Phi(t)$. Соединяя полученные для каждого интервала значения λ_i^* плавной кривой,

получим график интенсивности отказов $\lambda(t)$ (рис. 1).

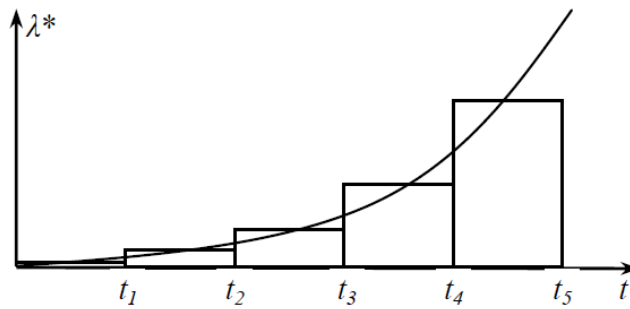


Рис. 1. График интенсивности отказов $\lambda^*(t)$ для усеченного нормального закона распределения

Если число отказавших элементов m_i разделить на Δt_i и число изделий, поставленных на испытания, то получим

$$f_i^* = \frac{m_i}{N\Delta t_i}$$

эмпирическое значение плотности распределения времени безотказной работы. Значения позволяют построить гистограмму (рис. 2), которая представляет собой аналог плотности распределения.

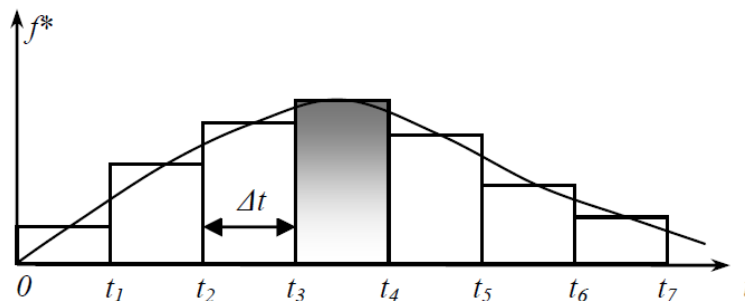


Рис. 2 – Пример гистограммы, являющейся совокупностью прямоугольников шириной Δt и высотой f_i^*

Между λ_i^* и f_i^* существует та же зависимость, что и между $\lambda(t)$ и $f(t)$. Разделим числитель и знаменатель в формуле статистической интенсивности отказов, соответствующие данному интервалу Δt_i на N , получим

$$\lambda_i^* = \frac{\frac{m_i}{N\Delta t_i}}{1 - \frac{r}{N}} = \frac{f_i^*}{1 - q_i^*} = \frac{f_i^*}{p_i^*}.$$

Можно сравнить с

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}.$$

Функция распределения рассчитывается по формуле

$$F_i^*(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^i m_j$$

и является функцией накопления частот.

Рассмотрим третий этап.

Проверка согласия опытного и теоретического распределения осуществляется с использованием специальных критериев. Наиболее употребительными критериями являются критерий Колмогорова, критерий χ^2 Пирсона и критерий ω^2 Мизеса.

Сопоставление графиков экспериментального распределения с выбранным теоретическим позволяет либо подтвердить правильность выбора теоретического распределения, либо отвергнуть это утверждение.

Проверка гипотезы о согласованности статистического и теоретического распределений проще всего осуществляется с помощью критерия согласия академика А.Н. Колмогорова. Для этого строятся экспериментальная (эмпирическая) функция распределения $F^*(\check{Y})$ и теоретическая функция $F(\check{Y})$ и определяется максимальная разность:

$$d = \max_y |F(\check{Y}) - F^*(\check{Y})|,$$

которая является максимальным абсолютным значением разности эмпирической и теоретической функций распределения.

Затем определяется величина (мера) q по формуле

$$q = d\sqrt{N},$$

где N – число реализаций (опытов).

Для проверки гипотезы о правильности выбора функции распределения $F(T)$ времени наступления отказа задаются уровни значимости α и находят квантиль распределения Колмогорова $Z_{1-\alpha}$.

Статистики используют слово **квантиль** (или **фрактиль** от англ. 'quantile', 'fractile') как наиболее общий термин для порогового значения не выше которого (то есть равно или ниже) лежат значения случайной величины.

Наиболее часто используемые квантили - *квартили, квинтили, децили и проценти́ли*.

Квартили (англ. 'quartiles') делят распределение на четверти, **квинтили** (англ. 'quintiles') - на 5 частей, **децили** (англ. 'deciles') - на 10 частей и **процентили** (англ. 'percentiles') - на 100.

Если в результате сравнения окажется, что мера $q < Z_{1-\alpha}$, то делается заключение, что нет основания отвергать гипотезу о виде функции распределения. В противном случае принятая гипотеза отвергается, и вся последовательность обработки информации повторяется, начиная с уточнения гипотезы о виде функции распределения.

Таким образом, проверка гипотезы по критерию Колмогорова состоит из следующих этапов:

1. Построение эмпирической функции распределения.
2. Выдвижение гипотезы о виде функции распределения и оценивание параметров этого распределения.
3. Вычисление значений теоретической функции распределения в точках t_i , которые соответствуют скачкам эмпирической функции распределения.
4. Вычисление в каждой из точек t_i , абсолютного значения разности

$$d = | F(t_i) - F^*(t_i) |,$$

5. Выбор максимального значения разности d_{max} и определение величины (меры)

$$q = d_{max} \sqrt{N}, \quad d = \max_{t_i} | F(t_i) - F^*(t_i) |,$$

6. Сравнение меры q с квантилем распределения Колмогорова $Z_{1-\alpha}$.

При необходимости можно построить доверительную область для теоретического распределения $F(t)$. С этой целью при выбранном уровне значимости α вычисляют

$$D_N^* = \frac{Z_{1-\alpha}}{\sqrt{N}}$$

и наносят на график верхнюю и нижнюю доверительные границы

$$\begin{cases} F_B(t) = F(t) + D_N^* \\ F_H(t) = F(t) - D_N^* \end{cases}$$

Если нанесенная на графике эмпирическая функция распределения $F^*(t_i)$ не выйдет за доверительные границы, то гипотеза о согласии принимается, в

противном случае – отвергается.

2. Порядок выполнения индивидуального задания

В индивидуальном задании приведены сведенные в таблицу результаты испытания объектов (элементов) по плану NUr . Заданы число объектов, поставленных на испытание, и число отказов, по достижении которого испытания прекращаются. Требуется построить гистограмму вероятности безотказной работы объекта и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова.

Для выполнения индивидуального задания выполняются действия в следующем порядке:

1. Приведенные в таблице моменты τ_i отказов объектов располагаются в порядке возрастания

$$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_r, \quad (\tau_i < \tau_{i+1})$$

где r – число отказавших объектов ($r = 40$).

2. Определяется диапазон изменения значений моменты τ_i отказов объектов

$$R_r = \tau_r.$$

3. Весь диапазон делится на K непересекающихся интервалов одинаковой длины. Количество интервалов определяется по правилу

$$K \approx 1 + 3,33 \lg r.$$

Вычисленное значение K округляется до ближайшего целого.

4. Определяется длительность интервала Δ

$$\Delta = \frac{R_r}{K},$$

значения Δ округлить до ближайшего целого числа.

5. Определяются границы интервалов $(t_{j-1}, t_j]$. Верхняя границы j -го интервала равна $t_j = j\Delta$. Нижняя граница j -го интервала t_{j-1} совпадает с верхней границей $(j-1)$ -го интервала $t_{j-1} = (j-1)\Delta$. Для $j = 1$ границы интервала $[t_0, t_1]$ и $t_0 = 0$.

6. Для каждого j -го интервала вычисляются n_j – число моментов времени отказов объектов τ_i ($i = 1, 2, \dots, r$), попадающих в данный интервал ($j = 1, 2, \dots, K$).

7. Вычисляется среднее число исправных элементов на каждом интервале

$$M_{j\text{cp}} = \frac{M_{j-1} + M_j}{2},$$

где M_{j-1} – число исправных образцов в начале j -го интервала, а M_j – число исправных образцов (объектов) в конце j -го интервала.

$$M_j = N - \sum_{i=1}^j n_i,$$

$$M_{j-1} = N - \sum_{i=1}^{j-1} n_i.$$

8. Определяется эмпирическая оценка вероятности безотказной работы на каждом интервале:

$$P_j^* = \frac{M_{j\text{cp}}}{N},$$

где N – число элементов, поставленных на испытания.

9. Определяется оценка среднего времени исправной работы

$$T^* = \frac{\sum_{j=1}^k n_j t_j + (N-r)t_k}{N}.$$

10. Выдвигается гипотеза о справедливости экспоненциального распределения времени безотказной работы испытываемых объектов и определяется оценка интенсивности отказов:

$$\lambda^* = \frac{1}{T^*}.$$

11. Для каждого интервала рассчитывается теоретическое значение вероятности безотказной работы:

$$P_j = e^{-\lambda^* t_j}.$$

12. Для проверки согласия эмпирической и теоретической вероятностей безотказной работы системы максимальная разность определяется из выражения

$$d = \max_t | P_j - P_j^* |,$$

13. Затем определяется величина $q = d \sqrt{N}$.

14. По таблице «Квантили распределения Колмогорова» определяется квантиль распределения $Z_{1-\alpha}$ для уровня значимости $\alpha = 0,25$.

Квантили распределения Колмогорова

α	$Z_{1-\alpha}$
0,01	1,63
0,025	1,48
0,05	1,36
0,10	1,22
0,15	1,14
0,20	1,07
0,25	1,02
0,30	0,97
0,35	0,93
0,40	0,89

15. Сравнивается мера q с $Z_{1-\alpha}$. Если в результате сравнения окажется, что мера $q < Z_{1-\alpha}$, то делается заключение, что гипотеза об экспоненциальной функции распределения верна. В противном случае принятая гипотеза отвергается.

Индивидуальные задания

Вариант 1

На испытание поставлено $N = 44$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	13	1	6	21	6	11	8	1	1	7
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	2	12	6	11	13	1	3	4	3	4
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	11	8	2	7	6	5	3	19	3	9
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	7	27	1	5	11	2	15	30	18	16

Вариант 2

На испытание поставлено $N = 43$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	1	13	7	1	31	13	14	11	3	12
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	1	1	23	15	17	2	30	4	7	23
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	3	12	20	12	6	1	4	27	43	1
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	12	21	17	10	4	4	21	4	15	21

Вариант 3

На испытание поставлено $N = 41$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	8	5	5	13	2	19	1	6	27	10
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	4	6	6	16	18	12	2	2	9	31
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	13	16	13	2	2	6	9	3	1	25
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	6	6	6	3	2	1	9	11	12	3

Вариант 4

На испытание поставлено $N = 42$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $N = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	2	9	4	10	19	21	9	3	7	22
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	17	1	2	7	9	27	31	18	16	2
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	7	3	29	19	19	2	14	22	23	1
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	2	3	2	32	16	4	9	3	11	5

Вариант 5

На испытание поставлено $N = 45$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об

экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	3	3	17	26	8	7	1	13	8	19
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	3	4	3	15	22	19	2	3	12	10
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	18	4	20	5	13	22	18	8	7	12
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	3	2	23	8	4	7	13	5	15	5

Вариант 6

На испытание поставлено $N = 44$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	3	7	9	2	13	3	7	2	19	4
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	3	1	20	24	25	27	16	33	19	2
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	4	17	10	7	23	2	10	1	7	2
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	10	3	7	10	2	13	18	7	19	11

Вариант 7

На испытание поставлено $N = 45$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова (см. таблицу приложения 1)

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	11	12	3	7	8	5	2	4	7	4
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	5	8	5	26	24	6	3	30	32	6
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	18	14	2	21	5	11	12	5	6	13
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	7	19	6	1	16	25	11	2	7	13

Вариант 8

На испытание поставлено $N = 42$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	14	6	3	36	8	12	17	39	20	8
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	4	44	30	11	5	4	17	2	3	3
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	13	7	9	2	3	4	8	26	8	12
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	3	9	2	2	21	5	24	25	17	6

Вариант 9

На испытание поставлено $N = 44$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	12	1	1	3	5	11	25	5	8	24
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	2	9	1	7	4	12	28	2	3	14
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	5	20	11	4	21	20	6	9	20	4
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	2	7	1	29	12	5	11	21	1	21

Вариант 10

На испытание поставлено $N = 43$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	1	2	12	5	21	8	5	19	12	21
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	31	7	1	3	3	20	14	5	7	15
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	4	2	16	5	8	13	2	15	23	8

№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	4	2	11	4	1	36	2	22	14	22

Вариант 11

На испытание поставлено $N = 45$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	11	3	10	11	5	6	1	6	8	1
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	5	16	4	4	17	8	11	6	10	4
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	21	3	7	3	8	10	3	26	28	7
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	13	6	12	11	4	2	28	2	9	8

Вариант 12

На испытание поставлено $N = 42$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	29	17	26	8	32	3	8	2	9	3
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	2	7	6	3	5	16	19	2	11	25
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	6	1	10	2	21	7	3	13	8	11
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	12	5	1	1	17	11	3	23	15	4

Вариант 13

На испытание поставлено $N = 43$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	2	11	13	7	1	3	1	8	14	30
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

t работы	33	13	22	8	27	5	2	22	9	5
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	14	6	9	2	3	16	37	30	3	12
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	7	17	11	9	8	6	3	6	7	13

Вариант 14

На испытание поставлено $N = 43$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	12	17	25	16	18	5	17	19	23	5
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	7	13	2	1	22	25	13	1	1	21
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	9	25	7	19	3	6	13	5	23	6
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	8	26	13	2	35	2	5	3	11	3

Вариант 15

На испытание поставлено $N = 44$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	16	18	18	6	14	8	1	11	2	8
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	23	6	12	14	1	4	3	1	6	13
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	6	23	1	3	4	1	8	4	10	1
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	15	2	18	19	3	22	7	21	4	25

Вариант 16

На испытание поставлено $N = 45$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	36	5	4	14	22	1	18	13	38	19
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	9	43	10	31	10	10	4	28	18	13
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	3	15	12	4	7	4	27	4	22	33
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	35	2	14	2	7	6	2	7	7	7

Вариант 17

На испытание поставлено $N = 42$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	12	17	4	1	8	1	6	12	10	5
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	5	5	8	7	7	4	4	12	12	10
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	17	14	1	10	19	1	1	15	3	4
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	19	20	28	2	12	15	11	18	8	4

Вариант 18

На испытание поставлено $N = 43$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	16	14	6	11	17	5	13	2	27	29
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	4	4	3	1	11	5	2	18	9	4
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	2	15	4	14	3	5	11	23	4	7
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	1	6	2	3	14	17	18	14	23	2

Вариант 19

На испытание поставлено $N = 44$ невозстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об

экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	6	19	36	2	2	13	15	16	11	2
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	2	2	27	35	33	9	12	4	10	5
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	15	7	12	12	2	1	2	2	3	6
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	1	3	13	30	30	15	10	1	18	2

Вариант 20

На испытание поставлено $N = 45$ невосстанавливаемых элементов. В результате испытаний определено время работы до отказа $r = 40$ элементов. Построить гистограмму плотности распределения и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени работы до отказа по критерию Колмогорова

Время работы до отказа:

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t работы	19	12	17	5	5	14	4	3	16	1
№ элемента	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t работы	13	7	10	7	28	7	3	3	2	2
№ элемента	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t работы	15	3	4	16	29	28	12	23	9	4
№ элемента	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
t работы	1	4	31	26	1	29	5	9	10	13

3. Содержание отчета

По выполнению задания каждый курсант должен представить отчет. Отчет должен содержать:

- название практического занятия;
- цель занятия;
- перечень основных характеристик надежности невосстанавливаемых элементов;
- результаты выполнения индивидуального задания;
- выводы по работе.

Отчетный материал представляется преподавателю, и результаты защищаются с выставлением оценки.

4. Критерии для оценивания выполнения индивидуального задания

«Отлично», если обучающийся правильно выполнил индивидуальное задание и правильно ответил на заданные преподавателем контрольные вопросы.

«Хорошо», если обучающийся правильно выполнил индивидуальное задание и правильно ответил не на все заданные преподавателем контрольные вопросы.

«Удовлетворительно», если обучающийся неправильно выполнил индивидуальное задание, но правильно ответил на большинство заданных преподавателем контрольных вопросов.

«Неудовлетворительно», если обучающийся неправильно выполнил индивидуальное задание и не ответил на заданные преподавателем контрольные вопросы.

5. Контрольные вопросы

1. Какие бывают планы организации испытаний без восстановления отказавших объектов?

2. Какие бывают планы организации испытаний с восстановлением отказавших объектов?

3. Перечислите основные показатели надежности невосстанавливаемой аппаратуры.

4. Дайте определение следующим показателям надежности невосстанавливаемой аппаратуры:

- вероятности безотказной работы $P(t)$;
- среднему времени безотказной работы T ;
- плотности распределения времени до отказа $f(t)$;
- интенсивности отказов $\lambda(t)$.

5. Какие законы распределения наиболее часто используются в теории надежности?

6. Каковы порядок и методика обработки статистического материала об отказах невосстанавливаемой аппаратуры?

7. Как определить из статистического материала следующие показатели надежности для невосстанавливаемой аппаратуры:

- плотность распределения времени до отказа $f^*(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda^*(t)$;
- вероятность безотказной работы $P^*(t)$;
- среднее время безотказной работы T^* ?

8. Как определить по графикам одной из функций $f(t)$, $\lambda(t)$ и $P(t)$ значения двух других функций?

9. Как определить по графику функции $P(t)$ значение T ?

В. Тимофеев

(воинское звание, подпись, инициал имени, фамилия автора)