

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

В.А. Кохановский

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебно-методическое пособие
для практических работ

Ростов-на-Дону
2017

УДК 504.7 (07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Д.А. Рудиков

Кохановский, В.А.

Надежность технических систем и техногенный риск: учебно-методическое пособие для практических работ / В.А. Кохановский; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 36 с.: ил., табл. – Библиогр.: с.36.

Учебно-методическое пособие посвящено вопросам анализа и последующего расчета надежности и риска технических систем, содержит примеры решения задач, примеры анализа надежности и риска, индивидуальные задания и контрольные вопросы для самостоятельной проверки знаний.

Предназначено для бакалавров направления подготовки «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств», а также для студентов других специальностей, изучающих дисциплину «Надежность технических систем и техногенный риск».

Одобрено к изданию кафедрой «Безопасность жизнедеятельности».

© Кохановский В.А., 2017
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017

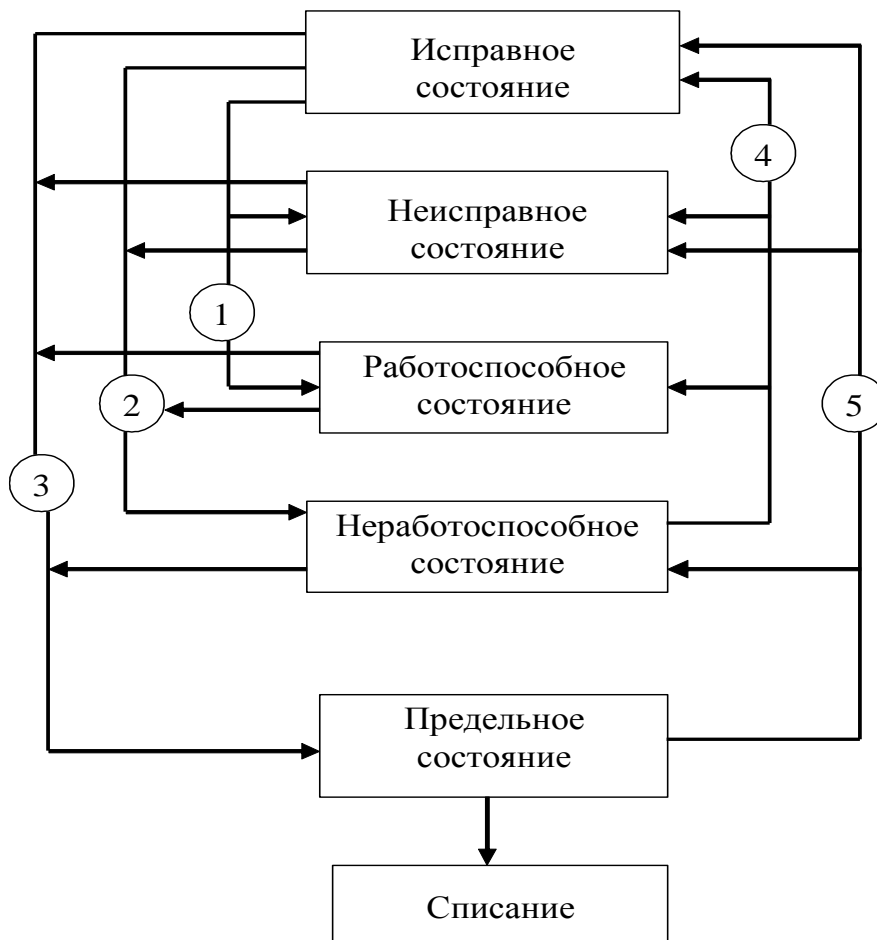
Оглавление

Практическая работа 1 Состояния технических объектов	4
Практическая работа 2 Расчет надежности на стадии проектирования	6
Практическая работа 3 Комплексные показатели надежности	9
Практическая работа 4 Планирование испытаний на надежность	11
Практическая работа 5 Моделирование наработок до отказа нормальным распределением	14
Практическая работа 6 Моделирование наработок до отказа равномерным распределением	26
Практическая работа 7 Содержание и структура риска	31
Практическая работа 8 Индивидуальный риск	33
Контрольные вопросы	34
Библиографический список	36

Практическая работа 1

Состояния технических объектов

1.1. Приведена схема ряда возможных состояний технических объектов, в которой отдельные состояния обозначены цифрами от 1 до 5.



В соответствии с индивидуальным заданием:

1. Расшифруйте 3 состояния объекта.
2. Дайте определения этим состояниям.
3. Какое состояние системы жизнеобеспечения из 3-х первых наименее опасно?

1.2. Найдите группу отказов, соответствующих определенному классификационному признаку



В соответствии с индивидуальным заданием:

1. Запишите определение отказов.
2. Какой отказ наиболее трудно устранить?
3. Какое сочетание параметров отказов невозможно?

Индивидуальное задание

№ п/п	Задача 1	Задача 2	№ п/п	Задача 1	Задача 2
1	1,2,3	1.1,2.1,3.1	13	1,2,5	1.2,2.2,3.2
2	1,2,4	1.2,2.2,3.2	14	1,3,4	1.3,2.3, 3.3
3	1,2,5	1.3,2.3, 3.3	15	1,3,5	2.1,4.1, 5.1
4	1,3,4	2.1,4.1, 5.1	16	2,3,5	2.2,4.2,5.2
5	1,3,5	2.2,4.2,5.2	17	2,3,4	1.1,5.2,4.1
6	2,3,5	1.1,5.2,4.1	18	1,4,5	3.1,4.1,5.1
7	2,3,4	3.1,4.1,5.1	19	2,4,5	2.3,3.1, 4.2
8	1,4,5	2.3,3.1, 4.2	20	3,4,5	3.1,4.1, 5.1
9	2,4,5	3.1,4.1, 5.1	21	1,2,3	3.2,4.2,5.2
10	3,4,5	3.2,4.2,5.2	22	1,2,4	3.3,4.1,5.1
11	1,2,3	3.3,4.1,5.1	23	1,2,5	1.1,2.1,3.1
12	1,2,4	1.1,2.1,3.1	24	1,3,4	1.2,2.2,3.2

Практическая работа 2

Расчет надежности на стадии проектирования

1. Индивидуальное задание

Таблица. 2.1

Исходные данные

№п/п	n_1	$P_4(t)$	m	t_p	№п/п	n_1	$P_4(t)$	m	t_p
1	20	0.978	4000	10	16	30	0.986	3500	12
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11	30	0.986	4000	12	26	40	0.998	3500	15
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

2. Условия задачи

Проектируется механическая система из 5-и блоков с частично известными параметрами, которая должна работать в течение m циклов. Для блоков 2, 3 и 4 известны вероятности безотказной работы: $P_2(t) = 0,98$; $P_3(t) = 0,99$ и $P_4(t)$ – приведено в таблице 1. Для блоков 1 и 5 экспериментально установлено число отказов за m циклов работы: n_1 – приведено в таблице 1, а $n_5 = 50$. Продолжительность восстановления системы после отказов составляет t_p (в циклах) приведено в таблице 1. Отдельные блоки могут быть соединены следующим образом (рис. 2.1):

1. последовательно 1 – 2 – 3 – 4 – 5;
2. параллельно (1,2,3,4,5);
3. смешанным образом 1 – (2,3,4) – 5 и (1,2,) – (4,5)

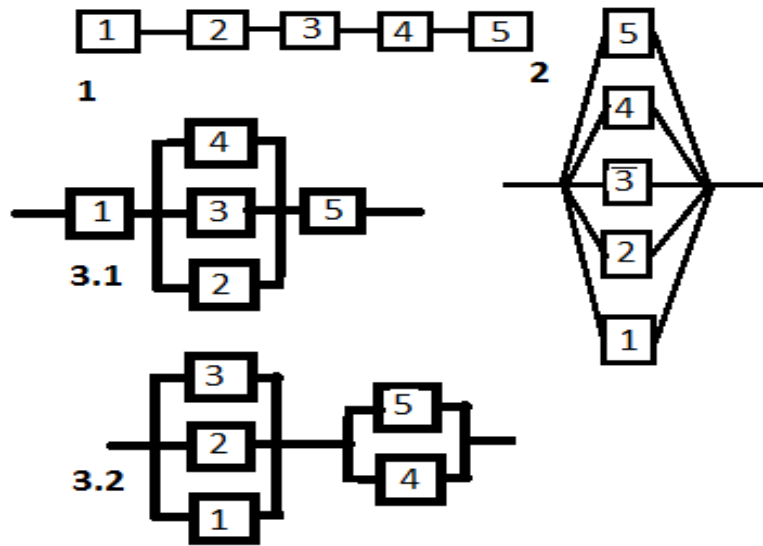


Рис. 2.1. Схемы соединений блоков

Рассчитать:

1. Число отказов n_2 , n_3 , n_4 для блоков 2, 3, 4.
2. Вероятность безотказной работы $P_1(t)$ и $P_5(t)$ для блоков 1 и 5.
3. Вероятность безотказной работы для всей системы при ее компоновке по схемам: 1, 2, 3.1 и 3.2.
4. Коэффициент готовности для соединений по схемам 3.1 и 3.2.
5. Коэффициент ремонта.

3. Пример выполнения (вариант 30).

3.1. Определяем число отказов блоков 2, 3 и 4.

$$n_2 = [1 - P_2(t)] m = [1 - 0,98] 3500 = 70; \quad n_3 = 35; \quad n_4 = 7.$$

3.2. Определяем вероятность безотказности работы блоков 1 и 2.

$$P_1(t) = 1 - n_1/m = 1 - 40/3500 = 0,9886; \quad P_5(t) = 0,9857.$$

3.3 Определяем вероятность безотказности работы всей системы при компоновке 1.

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot P_4(t) \cdot P_5(t) = 0,9886 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,998 \cdot 0,9857 = 0,9435$$

3.4. Определяем вероятность безотказности работы всей системы при компоновке 2.

$$\begin{aligned} P(t) &= 1 - [1 - P_1(t)] \cdot [1 - P_2(t)] \cdot [1 - P_3(t)] \cdot [1 - P_4(t)] \cdot [1 - P_5(t)] = \\ &= 1 - (1 - 0,9886) \cdot (1 - 0,98) \cdot (1 - 0,99) \cdot (1 - 0,998) \cdot (1 - 0,9857) = \\ &= 1 - 0,0114 \cdot 0,02 \cdot 0,01 \cdot 0,002 \cdot 0,0143 = 1 - 6,521 \cdot 10^{-11} \approx 1,0000 \end{aligned}$$

3.5. Определяем вероятность безотказности работы всей системы при компоновке 3.1.

$$\begin{aligned} P(t) &= P_1(t) \cdot \{1 - [F_2(t) \cdot F_3(t) \cdot F_4(t)]\} \cdot P_5(t) = \\ &= 0,9886 \cdot \{1 - 0,02 \cdot 0,01 \cdot 0,002\} \cdot 0,9857 = 0,9745 \end{aligned}$$

3.6. Определяем вероятность безотказности работы всей системы при компоновке 3.2.

$$\begin{aligned} P(t) &= \{1 - [F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot F_3(t)]\} \cdot \{1 - [F_4(t) \cdot F_5(t)]\} = \\ &= (1 - 0,0114 \cdot 0,02 \cdot 0,01) \cdot (1 - 0,002 \cdot 0,0143) = 0,99997 \end{aligned}$$

3.7. Определяем коэффициент готовности для компоновки 3.1.

1) Найдем число отказов системы.

$$n = [1 - P(t)]m = (1 - 0,9745)3500 = 89,25 \approx 90$$

2) Найдем время на ремонт отказов

$$t = t_p n = 15 \cdot 90 = 1350_{\text{циклов}}$$

3) Найдем коэффициент готовности

$$K_z = m / (m + t) = 3500 / (3500 + 1350) = 0,7216$$

3.8. Определяем коэффициент готовности для компоновки 3.2.

В связи с величиной вероятности безотказной работы практически равной единице коэффициенты готовности и ремонта, при той же наработке в циклах, также будет равен единице.

3.9. Определяем коэффициент ремонта системы при компоновке 3.2.

$$K_p = t_p / m = 1350 / 3500 = 0,39$$

Практическая работа 3 Комплексные показатели надежности.

1. Индивидуальное задание

Таблица 3.1

Исходные данные

№ п/п	Наработка до отказа			Длительность ремонта			№ п/п	Наработка до отказа			Длительность ремонта			
	А	Б	В	а	б	в		А	Б	В	а	б	в	
1	400	600	800	5	10	15	14	300	500	700	6	9	10	
2				4	9	14	15				4	8	13	
3				3	8	13	16				5	7	11	
4				2	7	12	17				7	9	16	
5				1	6	11	18				5	10	15	
6				6	9	10	19				4	9	14	
7				4	8	13	20				3	8	13	
8				5	7	11	21				2	7	12	
9	300	500	700	5	10	15	22	200	350	650	1	6	11	
10				4	9	14	23				6	9	10	
11				3	8	13	24				4	8	13	
12				2	7	12	25				5	7	11	
13				1	6	11	26				300	7	9	16

2. Условия задачи

За наблюдаемый период трактор отказал 3 раза. Первая наработка до отказа составила «А», вторая – «Б» и третья «В» часов. Первый внеплановый ремонт потребовал «а», второй – «б» и третий – «в» часов. Суммарное время простоев на 10% больше времени ремонта. Определить коэффициент готовности K_r , коэффициент технического использования $K_{т.и}$, коэффициент ремонта K_p .

3. Пример выполнения (вариант 26)

3.1. Определить среднюю наработку на отказ

$$\bar{t} = (300 + 350 + 650) / 3 = 433,3 \text{ час}$$

3.2. Определить среднее время восстановления

$$\bar{t}_в = (7 + 9 + 16) / 3 = 10,67 \text{ час}$$

3.3. Определить коэффициент готовности

$$K_r = \bar{t} / (\bar{t} + \bar{t}_в) = 433,3 / (433,3 + 10,67) = 0,976$$

3.4. Определить суммарную наработку на отказ

$$T = 300 + 350 + 650 = 1300 \text{ час}$$

3.5. Определить суммарную продолжительность простоев на техническое обслуживание и ремонты.

$$T_p = \bar{t}_в \cdot 1,1 = 10,67 \cdot 1,1 = 11,74 \text{ час}$$

3.6. Определить коэффициент технического использования

$$K_{т.и} = T / (T + T_p) = 1300 / (1300 + 11,74) = 0,991$$

3.7. Определить коэффициент ремонта

$$K_p = T_p / T = 11,74 / 1300 = 0,009$$

3.8. Укажите какие параметры надежности характеризуют определяемые коэффициенты.

Практическая работа 4 Планирование испытаний на надежность

1. Индивидуальное задание

Таблица 4.1

Исходные данные

№п/п	Объем вы- борки, <i>n</i>	Относительная погрешность, δ	№п/п	Объем вы- борки, <i>n</i>	Относительная погрешность, δ
1	3,7,13,23	30%	13	3,7,13,23	20%
2	5,9,11,21		14	5,9,11,21	
3	3,9,13,23		15	3,9,13,23	
4	3,5,11,21		16	3,5,11,21	
5	7,11,15,23		17	7,11,15,23	
6	5,9,15,21		18	5,9,15,21	
7	3,7,13,23	27%	19	3,7,13,23	15%
8	5,9,11,21		20	5,9,11,21	
9	3,9,13,23		21	3,9,13,23	
10	3,5,11,21		22	3,5,11,21	
11	7,11,15,23		23	7,11,15,23	
12	5,9,15,21		24	5,9,15,21	

2. Условие задачи

Планируется провести ускоренные, за счет уменьшения выборки, сравнительные испытания наработок до отказа двух однотипных технических систем по схеме **NUN**. По результатам испытаний аналогов установлена средняя величина коэффициента вариации $V = \sigma / \bar{x}$, равная 32%, $\sigma = 20$ час. Требуется определить доверительный интервал средней наработки у аналога при доверительной вероятности 0,95, необходимый минимальный объем выборок, обеспечивающий величину заданной относительной погрешности и величину доверительного интервала для наибольшего *n* при доверительной вероятности 0,90, 0,98 и 0,99.

Таблица 4.2

Квантиль Стьюдента при $P=0,95$

<i>k</i>	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$t_{0,95}$	4,30	2,78	2,45	2,30	2,23	2,18	2,14	2,12	2,10	2,09	2,07

Таблица 4.3

Квантиль Стьюдента при $k = n-1$ и $P=0,90; 0,98$ и $0,99$

<i>k</i>	20	22	<i>k</i>	20	22	<i>k</i>	20	22
$t_{0,90}$	1,725	1,717	$t_{0,98}$	2,528	2,508	$t_{0,99}$	3,849	3,792

3. Пример выполнения (вариант 24)

3.1. Определить среднюю наработку до отказа у аналога

$$\bar{x} = \sigma / V = 20 / 0,32 = 62,5 \text{ час}$$

3.2. Определить доверительный интервал среднего для своих выборок

$$\pm \Delta = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k} = \frac{20}{\sqrt{5}} 2,78 = 24,865$$

n	5	9	15	21
$\pm \Delta$	24,865	15,333	11,051	9,121

3.3. Определить относительную погрешность

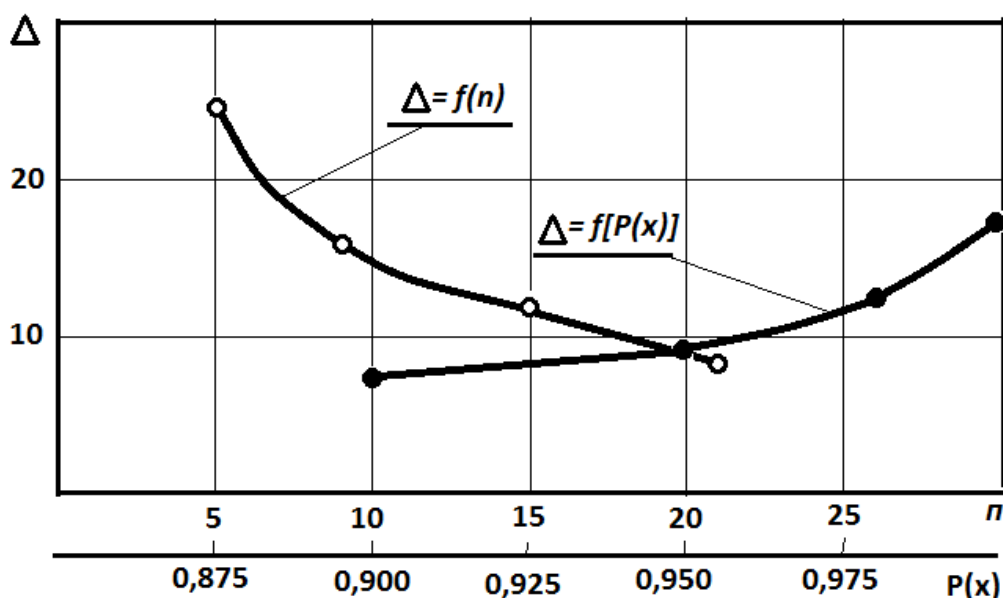
$$\delta = \Delta / \bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k} = \frac{V}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k} = 24,865 / 62,5 = 0,398$$

n	5	9	15	21
δ	39,8%	24,5%	17,7%	14,6%

3.4. Определить величины доверительных интервалов для наибольших выборок ($n = 21$) при доверительной вероятности 0,90, 0,98 и 0,999

$P(x)$	0,90	0,95	0,98	0,999
$\pm \Delta$	7,529	9,121	11,033	16,798

3.5. Построить графики изменения величины доверительного интервала от объема выборки и доверительной вероятности



3.6. Определить объем выборки, обеспечивающий заданную относительную погрешность

$$n = \frac{V^2}{\delta^2} t_{\alpha,k}^2 = \frac{0,32^2}{0,15^2} 2,09 = 19,88$$

Принимаем объем выборки равным 20 наработок на отказ.

3.7. Выводы о влиянии объема выборки и доверительной вероятности на величину доверительного интервала и погрешности.

Практическая работа 5

Моделирование наработок до отказа нормальным распределением

1. Индивидуальное задание

Таблица 5.1

Исходные данные

42	51	55	43	57	48	76	81	82,5	91
99,1	82	101	111	121	61	101,5	105,5	112	71
107,5	75,5	92	83	99,2	102	91,1	122	90,2	113
131	72	102,5	65	93	132	80	130	83,5	92,2
114	95,3	123	86	94	134	103	109,5	124	91,2
85	95	115	90	109	84	96	63	116	104
107,5	77	133	96,1	73	108,5	92,1	79	74	98
117	93,2	118	94,2	97,3	73,5	97	105	126	93,1
84,5	127	87,5	140	106	119	95,1	69	94,1	98,2
96,2	136	95,2	88	128	97,1	107	87	120	89
98,1	67	108	75	139	86,5	129	99	146	125
148	150	142	100	146	--	--	--	--	--

Таблица 5.2

Содержание задания

№ п/п	диапазон наработок	число интервалов	№ п\п	диапазон наработок	число интервалов
1	42 - 125	5	13	43 - 142	5
2		7	14		7
3		9	15		9
4		11	16		11
5	51 - 148	5	17	57 - 100	5
6		7	18		7
7		9	19		9
8		11	20		11
9	55 - 150	5	21	48 - 143	5
продолжение таблицы 2					
10	55 - 150	7	22	48 - 143	7
11		9	23		9
12		11	24		11

2. Общие положения

В соответствии с известным принципом появление отказа любой машины детерминировано (рано или поздно обязательно произойдет), а время наступления отказа (наработки до отказа) случайно. Оно зависит от совокупности множества разных независимых причин. Это приводит к необходимости применять

для анализа выборок наработок до отказа методы математической статистики, основанной на теории вероятностей.

В работе, оперируя результатами статистического анализа конечного набора наработок до отказа подшипников скольжения, нужно найти для их генеральной совокупности время безотказной работы и гамма-процентный ресурс для 95% вероятности.

3. Порядок выполнения работы

3.1. В соответствии с порядковым номером в списке группы и данными таблицы 2 выписать в отчет индивидуальное задание из таблицы 1 во второй столбец таблицы 3, построив вариационный ряд, т.е. от меньшего к большему.

3.2. Оценка резко выделяющихся данных в заданной выборке.

1) Рассчитать величину средней наработки до отказа без сомнительной величины и занести в табл.3.

$$t_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} t_i = 6331,3/90 = 70,35 \text{ час}, \quad (5.1)$$

где N – объем выборки (штук наработок).

2) Рассчитать среднее квадратичное отклонение и занести в табл. 5.3

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (t_i - t_{cp})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{5118,07}{89}} = 7,58 \text{ час}. \quad (5.2)$$

Таблица 5.3

Вариационный ряд

№	наработ., t_i	$t_i - t_{cp}$	$(t_i - t_{cp})^2$	№	наработ., t_i	$t_i - t_{cp}$	$(t_i - t_{cp})^2$
1	50	20,25	410,0625	46	70,2	0,15	0,0225
2	52	18,35	336,7225	47	70,7	0,35	0,1225
3	54	16,35	267,3225	48	70,9	0,55	0,3025
4	57	13,35	178,2225	49	71	0,65	0,4225
5	59	11,35	128,8225	50	71,1	0,75	0,5625
6	59,5	10,85	117,7225	51	71,2	0,85	0,7225
7	60	10,35	107,1225	52	71,3	0,95	0,9025
8	60,5	9,85	97,0225	53	71,4	1,05	1,1025
9	61	9,35	87,4225	54	71,5	1,15	1,3225
10	61,5	8,85	78,3225	55	72	1,65	2,7225
11	62	8,35	69,7225	56	72,4	2,05	4,2025
12	62,5	7,85	61,6225	57	72,5	2,15	4,6225
13	63	7,35	54,0225	58	72,6	2,25	5,0625
14	63,5	6,85	46,9225	59	72,6	2,25	5,0625
15	64	6,35	40,3225	60	72,6	2,25	5,0625
16	64,2	6,15	37,8225	61	73	2,65	7,0225
17	64,4	5,95	35,4025	62	73,2	2,85	8,1225
18	64,8	5,55	30,8025	63	73,4	3,05	8,3025
19	64,9	5,45	29,7025	64	73,5	3,15	9,9225
20	65	5,35	28,6225	65	73,8	3,45	11,9025
21	65,3	5,05	25,5025	66	73,9	3,55	12,6025
22	65,5	4,85	23,5225	67	74	3,65	13,3225
23	65,7	4,65	21,6225	68	74,3	3,95	15,6025
24	66	4,35	18,9225	69	74,5	4,15	17,2225
25	66,2	4,15	17,2225	70	74,9	4,55	20,7025
26	66,3	4,05	16,4025	71	75	4,65	21,6225
27	66,4	3,95	15,6025	72	75,3	4,95	24,5025
28	66,7	3,65	13,3225	73	75,5	5,15	26,5225
29	66,9	3,45	11,9025	74	75,7	5,35	28,6225
30	67	3,35	11,2225	75	78	7,65	58,5225
31	67,2	3,15	9,9225	76	78,5	8,15	66,4225
32	67,4	2,95	8,7025	77	78,7	8,35	69,7225
33	67,8	2,55	6,5025	78	79	8,65	74,8225
34	68	2,35	5,5225	79	79,1	8,75	76,5625
35	68,1	2,25	5,0625	80	79,6	9,25	85,5625
36	68,3	2,05	4,2025	81	80	9,65	93,1225
37	68,8	1,55	2,4025	82	80,5	10,15	103,0225
38	68,9	1,45	2,1025	83	81	10,65	113,4225
39	69	1,35	1,8225	84	81,7	11,35	128,8225
40	69,1	1,25	1,5625	85	82	11,65	135,7225
41	69,2	1,15	1,3225	86	84	13,65	186,3225
42	69,4	0,95	0,9025	87	85	14,65	214,6225
43	69,5	0,85	0,7225	88	87	16,65	277,2225
44	69,7	0,65	0,4225	89	88	17,65	311,5225
45	70	0,35	0,1225	90	90	19,65	386,1225
СУММА					6331,3		5118,07

3) Рассчитать критерий и сравнить его с табличным

$$\lambda = |t_N - t_{N-1}| / \sigma < \lambda_{\text{таб}} . \quad (5.3)$$

При выполнении неравенства наработку t_{\max} при данном N и требуемой вероятности не следует отбрасывать как грубую ошибку. Проверку нужно выполнять для t_{\max} и t_{\min} .

$$|90 - 88| / 7,58 = 0,26 < 1,0 \quad , \quad |50 - 48| / 7,58 = 0,26 < 1,0$$

Проверка показала, что поскольку $\lambda_{\text{рас}} < \lambda_{\text{таб}}$ крайние члены выборки не отбрасываются.

Таблица 5.4

Величины λ с вероятностью $1 - \beta$

N	$\lambda_{0,95}$	$\lambda_{0,99}$
2	2,8	3,7
3	2,2	2,9
10	1,5	2,0
20	1,3	1,8
30	1,2	1,7
50	1,1	1,6
100	1,0	1,5
400	0,9	1,3
1000	0,8	1,2

3.3. Построение графика кривой нормального распределения наработок.

1) Рассчитать размах вариаций переменной

$$t_{\max} - t_{\min} = R = 90 - 50 = 40 \text{ час} . \quad (5.4)$$

2) Разбить размах на j интервалов в соответствии с заданием.

$$R / j = h = 40 / 5 = 8 \text{ час} \quad (5.5)$$

3) Установить границы интервалов и занести результаты в табл. 5.5.

$$1. \quad t_{\min} \quad \dots \quad (t_{\min} + h) \quad 1. \quad 50 \dots 58$$

$$2. \quad (t_{\min} + h) \quad \dots \quad (t_{\min} + 2h) \quad 2. \quad 58 \dots 66$$

•
•
•

•
•
•

$$j. \quad [t_{\min} + (j-1)h] \dots t_{\max} \quad 5. \quad 82 \dots 90$$

4) Определить середины интервалов и занести в таблицу 5.

$$1. \quad t_{\min} + 0,5h \quad 1. \quad 54$$

$$2. \quad t_{\min} + 1,5h \quad 2. \quad 62$$

$$3. \quad t_{\min} + 2,5h \quad 3. \quad 70$$

•
•
•

•
•
•

$$j. \quad t_{\min} + (j - 0,5)h \quad 5. \quad 86$$

5) Определить абсолютные частоты n_j (величины наработок, попадающие в установленные интервалы) и занести их в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Данные для построения полигона распределения и теоретической кривой времени наработки до отказа

№ п/п	Границы интервалов	Средины интервалов	Абсолютные частоты	Аргумент функции Лапласа	Функция Лапласа	Теоретические частоты
		t_j	n_j	$z=(t_j-t_{cp})/\sigma$	$\varphi(z)$	$m_j = \frac{\varphi(z)Nh}{\sigma}$
1	2	3	4	5	6	7
1	50 - 58	54	4	2,16	0,0387	3,67
2	58 - 66	62	20	1,10	0,2179	20,70
3	66 - 74	70	43	0,05	0,3984	37,84
4	74 - 82	78	18	1,01	0,2396	22,76
5	82 - 90	86	5	2,06	0,0478	4,54
Σ			90			

6) Построить гистограмму в виде столбцов высотой, равной абсолютным частотам и шириной, равной ширине интервалов.

7) Построить полигон распределений наработок до отказа. На абсциссе откладывают середины интервалов, а на ординате – абсолютные частоты. Соединить полученные точки прямыми.

8) Рассчитать аргумент функции Лапласа и занести в столбец 5 табл. 5.5

$$Z = \frac{t_j - t_{cp}}{\sigma} \quad (5.6)$$

9) Найти по табл. 5.6 значения функции плотности вероятности $\varphi(z)$, умножить на масштабный коэффициент и занести в столбцы 6 и 7 табл. 5.5.

Таблица 6 Плотность вероятности нормального распределения $\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0.1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0.2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0.3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0.4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0.5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0.6	3332	3312	3292	3271	3251	3229	3209	3187	3166	3144
0.7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0.8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0.9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1.0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1.1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1.2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1801	1781	1758	1736
1.3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1.4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1.5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1.6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	989	973	957
1.7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1.8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1.9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2.0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2.1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2.2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2.3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2.4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2.5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2.6	0136	0132	0128	0125	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2.7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2.8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2.9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046
3.0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3.1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3.2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018
3.3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3.4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3.5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006
3.6	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0004
3.7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003
3.8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002
3.9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

10) На полигоне распределения эмпирических частот построить теоретическую кривую распределения наработок до отказа с учетом масштаба $K = Nh/B$. Абсциссы сохраняются, а ординаты соответствуют теоретическим частотам m_j . Соединить полученные точки плавной кривой.

3.4. Оценка выравнивания эмпирических результатов по гипотетической теоретической кривой (нормального распределения).

1) Критерий согласия К. Пирсона χ^2 .

Рассчитать величину параметра χ^2 , пользуясь выражением

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^N \frac{(n_j - m_j)^2}{m_j}, \quad (5.7)$$

где, n_j - число сравниваемых эмпирических частот в j – том интервале, m_j – теоретические частоты в том же j – том интервале.

Примечание. Если эмпирическая частота в каком-либо интервале меньше 5, то этот интервал следует при расчетах объединить с соседним и считать одним. Расчеты удобно вести в табл. 5.7.

Определить число степеней свободы

$$k = j - r - 1,$$

где, j – количество сравниваемых интервалов, r – число параметров теоретического распределения (для закона нормального распределения $r = 2$, среднее и среднее квадратичное).

По табл. 5.8, используя расчетную величину χ^2 и число степеней свободы k , найти $P(\chi^2)$. Если вероятность $P(\chi^2) > 0,6$, то кривые согласуются и наработки до отказа действительно распределяются по нормальному закону.

Таблица 5.7

Расчет критерия согласия К. Пирсона

№ интервала	n_j	m_j	$n_j - m_j$	$(n_j - m_j)^2$	$\frac{(n_j - m_j)^2}{m_j}$
1	4				
2	20 [24]	[24,37]	[0,37]	[0,137]	[0,006]
3	43	37,84	5,16	26,626	0,704
4	18	22,76	4,76	22,66	0,995
5	5	4,54	0,46	0,212	0,047
$\chi^2 = \sum_{j=1}^N \frac{(n_j - m_j)^2}{m_j} = 1,759$					

$P(\chi^2) \approx 0,4$ экспериментальная кривая не известно как согласуется с нормальным распределением, т. к. недостаточно степеней свободы $k = 4 - 2 - 1 = 1$

Таблица 5.8

Вероятностей P для критерия К. Пирсона χ^2

$\chi^2 \backslash k$	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6065	0,8013	0,9098	0,9626	0,9856	0,9948	0,9982	0,9994
2	3679	5724	7358	8491	9197	9598	9810	9915
3	2231	3916	5578	7000	8088	8850	9344	9643
4	1353	2615	4060	5494	6767	7798	8571	9114
5	0821	1718	2873	4159	5438	6600	7576	8343
6	0498	1116	1991	3062	4232	5398	6472	7399
7	0302	0719	1359	2206	3208	4289	5366	6371
8	0183	0460	0916	1562	2381	3326	4335	5341
9	0111	0293	0611	1091	1736	2527	3423	4373
10	0067	0186	0404	0752	1247	1886	2650	3505
11	0041	0117	0266	0514	0884	1386	2017	2757
12	0025	0074	0174	0348	0620	1006	1512	2133
13	0015	0046	0113	0234	0430	0721	1119	1626
14	0009	0029	0073	0156	0296	0512	0818	1223
15	0006	0018	0047	0104	0203	0360	0591	0909
16	0003	0011	0030	0068	0138	0251	0424	0669
17	0002	0007	0019	0045	0093	0174	0301	0487
18	0001	0004	0012	0029	0062	0120	0212	0352
19	0001	0003	0008	0019	0042	0082	0149	0252
20	0000	0002	0005	0013	0028	0056	0103	0179

2) Критерий согласия А.Н. Колмогорова

Рассчитать величину параметра λ , пользуясь выражением

$$\lambda = \frac{(n_j^* - m_j^*)_{\max}}{N} \sqrt{N} = 4,79 \cdot 9,49/90 = 0,5 \text{ и } P(\lambda) = 0,96 \quad (5.8)$$

где n^* и m^* - накопленные суммы частот, представляющие собой прибавление последующих частот к сумме предыдущих. Расчет ведется по табл. 9.5.

Таблица 5.9

Расчет критерия согласия А.Н. Колмогорова

№ интервала	n_j	m_j	накопленные n_j^*	накопленные m_j^*	$n_j^* - m_j$
1	4	3,67	4	3,67	0,33
2	20	20,70	24	24,37	0,37
3	43	37,84	67	62,21	4,79
4	18	22,76	85	84,97	0,03
5	5	4,54	90	89,51	0,49

Если найденная по табл. 5.10 вероятность $P(\lambda) > 0,6$, то кривые согласуются и наработки до отказа распределяются по закону близкому нормальному.

Вероятность $P(\lambda)$ для критерия А.Н. Колмогорова

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,30	1,000	1,00	0,2700
0,35	0,9997	1,10	0,1777
0,40	0,9972	1,20	0,1122
0,45	0,9874	1,30	0,0681
0,50	0,9639	1,40	0,0397
0,55	0,9228	1,50	0,0222
0,58	0,8896	1,60	0,0120
0,60	0,8643	1,70	0,0062
0,64	0,8073	1,80	0,0032
0,65	0,7920	1,90	0,0015
0,70	0,7112	2,00	0,0007
0,75	0,6272	2,10	0,0003
0,80	0,5441	2,20	0,0001
0,85	0,4653	2,30	0,0001
0,90	0,3927	2,40	0,0000
0,95	0,3275	2,50	0,0000

3.5 Вычисление параметров эмпирического распределения

1) Ввести условные единицы ε

Для удобства расчетов воспользуемся табл. 5.11. В середине интервала, в котором должно быть среднее арифметическое ставим условный нуль (столбец 3). Строки выше нуля обозначаются цифрами начиная с -1, а ниже – начиная с +1.

Таблица 5.11

Расчет вспомогательных величин

№	n_j	(ε_j)	$n_j(\varepsilon_j)$	$n_j(\varepsilon_j)^2$	$n(\varepsilon_j)^3$	$n_j(\varepsilon_j)^4$
1	2	3	4	5	6	7
1	4	-2	-8	16	-32	64
2	20	-1	-20	20	-20	20
3	43	0	0	0	0	0
4	18	1	18	18	18	18
5	5	2	10	20	40	80
Σ	90	----	0	74	6	182

2) Рассчитать нецентральные моменты V

$$V_1 = \frac{1}{N} \sum n_j \varepsilon_j ; \quad V_2 = \frac{1}{N} \sum n_j \varepsilon_j^2 ; \quad V_3 = \frac{1}{N} \sum n_j \varepsilon_j^3 ; \quad V_4 = \frac{1}{N} \sum n_j \varepsilon_j^4$$

$$v_1 = 0; \quad v_2 = 0,82; \quad v_3 = 0,07; \quad v_4 = 2,02.$$

3) Рассчитать центральные моменты μ

$$\begin{aligned} \mu_2 &= v_2 - (v_1)^2; & \mu_3 &= v_3 - 3v_1 v_2 + (v_1)^2; \\ \mu_4 &= v_4 - 4 v_1 v_3 + 6 (v_1)^2 v_2 - 3(v_1)^4 \\ \mu_2 &= 0,82; & \mu_3 &= 0,07; & \mu_4 &= 2,02 \end{aligned}$$

4) Рассчитать параметры выборки наработок до отказа

Среднее арифметическое $t_{cp} = t_0 + h V_1$; $t_{cp} = 70$

Среднее квадратичное $\sigma = h \sqrt{\mu_2}$; $\sigma = 7,24$

Сравнить полученные величины с рассчитанными в п.п. 4.2 и 4.3.

Асимметрия (мера косости) $A = \frac{\mu_4}{\sqrt{\mu_2^3}}$; $A = 3,66$

Эксцесс (мера крутости) $E = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3$; $E = - 0,537$

3.6 Определение средних квадратичных ошибок параметров экспериментального распределения наработок до отказа:

Среднего арифметического $\sigma(t_{cp}) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, $\sigma(t_{cp}) = 0,763$

Среднего квадратичного $\sigma(\sigma) = \frac{\sigma}{\sqrt{2N}}$, $\sigma(\sigma) = 0,540$

Асимметрии $\sigma(A) = \sqrt{\frac{6}{N}}$, $\sigma(A) = 0,258$

Эксцесса $\sigma(E) = \sqrt{\frac{24}{N}}$. $\sigma(E) = 0,516$

3.7 Определение параметров надежности

1) Период безотказной работы равно - $t_{min} = 50$ час

2) Средняя наработка до отказа равна - $t_{cp} = 70$ час

3) Вероятность безотказной работы рассчитать для 4-х времен из всего диапазона наработок до отказа по формуле

$$P(t) = 1 - \int \varphi(t) dt = 0,5 - \Phi(t) = 1 - (n/N),$$

где, $t = (t_i - t_{cp}) / \sigma$, $\Phi(t)$ – функция Лапласа, n - число отказов во время t_i .

t	58	66	74	82
P(t)	0,955	0,733	0,255	0,055

4) Интенсивность отказов рассчитать для 4-х времен из всего диапазона наработок до отказа по формуле

$$P(\lambda) = \frac{\varphi(t)}{1 - \Phi(t)},$$

где для $t = (t_i - t_{cp}) / \sigma$ находим $\varphi(t)$ в табл. 5.6, а $\Phi(t)$ – в табл.5.12.

t_i	58	66	74	82
$t = (t_i - t_{cp}) / \sigma$	1,66	0,55	0,55	1,66
$\varphi(t)$	0,101	0,343	0,343	0,101
$\Phi(t)$	0,4515	0,2088	0,2088	0,4515
$P(\lambda)$	0,184	0,433	0,433	0,184

5) Гамма-процентный ресурс t_γ рассчитать для 4-х уровней вероятности: 0,999; 0,99; 0,95; 0,90 по формуле

$$t_\gamma = t_{cp} - U_p \sigma,$$

где U_p – квантиль нормального распределения

6) Построить графики вероятности безотказной работы, интенсивности отказов и гамма-процентного ресурса.

$P(t)$	0,90	0,95	0,99	0,999
U_p	1,282	1,645	2,326	3,09
t_γ	60,72	58,09	53,16	47,63

3.8 Сформулировать выводы.

1. Экспериментальные наработки до отказа подчиняются нормальному распределению с критериями...

2. Период безотказной работы равен ___ часов.

3. Средняя наработка до отказа составляет...

4. Анализ графиков показывает...

Таблица 12. Значение функции $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0,2	0793	0832	0871	0909	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1555	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	1915	1950	1985	2019	2045	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3686	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2,1	4821	4826	4834	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2,5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4979	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4985	4985	4986	4986

...

Практическая работа 6
Моделирование наработок до отказа равномерным распределением

1. Индивидуальное задание

Таблица 6.1

Исходные данные

№ п/п	Интервал	Ч а с т о т а, m_i				
		а	б	в	г	д
1	0,95 – 0,96	20	21	18	16	17
2	0,96 – 0,97	21	19	20	18	19
3	0,97 – 0,98	18	18	16	15	15
4	0,98 – 0,99	20	20	18	16	17
5	0,99 – 1,00	22	19	20	18	19
6	1,00 – 1,01	18	23	17	17	16
7	1,01 – 1,02	21	20	19	17	18
8	1,02 – 1,03	19	18	17	15	16
9	1,03 – 1,04	17	17	16	14	15
10	1,04 – 1,05	23	22	20	18	19
11	1,05 – 1,06	20	21	19	17	18
12	1,06 – 1,07	19	18	20	18	17

Таблица 6.2.

Индивидуальное задание

№ п/п	Интервал	Частота	№ п/п	Интервал	Частота
1	1 - 8	а	16	1 - 11	а
2		б	17		б
3		в	18		в
4		г	19		г
5		д	20		д
Продолжение таблицы 2					
6	1 - 9	а	21	1 - 12	а
7		б	22		б
8		в	23		в
9		г	24		г
10		д	25		д
11	1 - 10	а	26	3 - 12	а
12		б	27		б
13		в	28		в
14		г	29		г
15		д	30		д

2. Общие положения. Используя выборку наработок объекта до отказа, построить гистограмму плотности распределения, рассчитать время безотказной работы и среднюю наработку до отказа .

$f(x) = 1/(b-a)$, где параметр b и a – параметры.

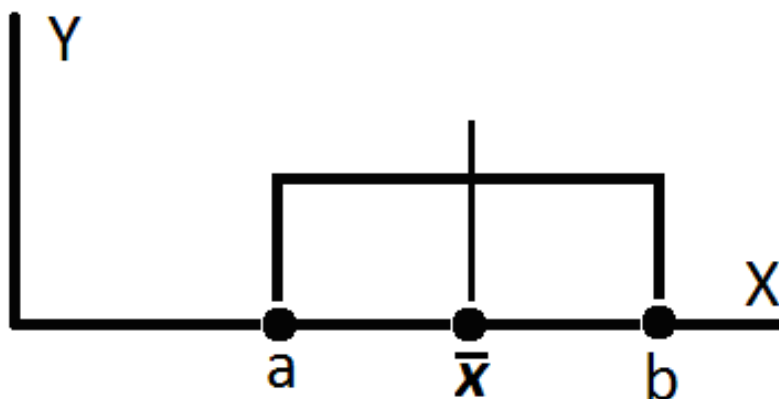


Рис.6.1. Плотность распределения

3. Порядок выполнения работы.

3.1. В соответствии с порядковым номером в списке группы и данными табл. 6.1 и 6.2 вписать в столбцы 2 и 3 табл. 6.3 отчета индивидуальное задание.

Таблица 6.3.

№ П/П	Интервал $x_{min}-x_{max}$	Частота n_i	Середина интервала, X_i	X_i^*	$n_i X_i^*$	$n_i(X_i^*)^2$	$\varphi(X)$	m_i^*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,92-0,95	11	0,935	-4	-44	176	0,1281	12,81
2	0,95-0,98	15	0,965	-3	-45	135	0,1335	13,35
3	0,98-1,01	16	0,995	-2	-32	64	0,1335	13,35
4	1,01-1,04	9	1,025	-1	-9	9	0,1335	13,35
5	1,04-1,07	16	1,055	0	0	0	0,1335	13,35
6	1,07-1,10	12	1,085	1	12	12	0,1335	13,35
7	1,10-1,13	13	1,115	2	26	52	0,1335	13,35
8	1,13-1,16	8	1,145	3	24	72	0,0712	7,12
Сумма		N=100	—	—	- 68	520	—	100

3.2. Определить середины интервалов и занести в столбец 4 таблицы 3.

$$X_i = x_{min} + (x_{max} - x_{min}) / 2$$

$$X_1 = 0,92 + (0,95 - 0,92) / 2 = 0,935$$

3.3. Определить x_0 - примерная середина рассматриваемого диапазона
Принимаем $x_0 = 1,055$

3.4. Перейти в столбце 5 от середины интервалов к новой переменной X_i^* .
В центре 0, вверх от -1, -2, и т. д., а вниз от 1, 2 и т. д.

Тогда $X_i^* = (X_i - x_0)/h = (0,935 - 1,055)/0,03 = -4$

где h – ширина интервала

3.5. Вычислить суммы столбцов 3, 6, 7 .

3.6. Вычислить среднее значение величины X_i^*

$$\bar{X}^* = \frac{\sum_{i=1}^N n_i X_i^*}{\sum_{i=1}^N n_i} = -68 / 100 = -0,68$$

3.7. Вычислить среднее квадратическое $(S^*)^2$

$$(S^*)^2 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (X_i^*)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} - (\bar{X}^*)^2 = 520/100 - 0,68^2 = 4,7376; S^* = 2,18$$

3.8. Определить a^* и b^*

$$a^* = \bar{X}^* - 1,73 S^* = -0,68 - 1,73 \cdot 2,18 = -4,45$$

$$b^* = \bar{X}^* + 1,73 S^* = -0,68 + 1,73 \cdot 2,18 = 3,09$$

3.9. Переход к исходной переменной x

$$x_i = \bar{X}^* \cdot h + x_0, \text{ тогда}$$

$$b = b^* \cdot h + x_0 = 3,09 \cdot 0,03 + 1,055 = 1,148$$

$$a = a^* \cdot h + x_0 = -4,45 \cdot 0,03 + 1,055 = 0,9215$$

3.10. Найти вероятности интервалов:

для средних интервалов $\varphi(x) = h/(b - a) = 0,03/0,2265 = 0,1325$,

для первого интервала ширина равна $0,95 - 0,9212 = 0,0288$

$$\varphi(x_1) = 0,0288 / 0,2265 = 0,1272$$

для последнего интервала ширина равна $1,146 - 1,13 = 0,016$

$$\varphi(x_8) = 0,016 / 0,2265 = 0,0706$$

3.11. Найти значения частот теоретической (выровненной) кривой и занести в столбец 9 табл. 6.3.

$$m_2^* = N \cdot \varphi(x_2) = 100 \cdot 0,1325 = 13,25$$

3.12. Построение гистограммы и теоретической кривой (см. Рис.1).

4. Определить параметры надежности.

4.1. Время безотказной работы - x_{min}

4.2. Средняя наработка до отказа - x_{cp}

4.3. Вероятность безотказной работы для двух времен по теоретической кривой $P(x) = 1 - \frac{x - a}{b - a}$ и экспериментальной $P(x) = 1 - (n/N)$ зависимости.

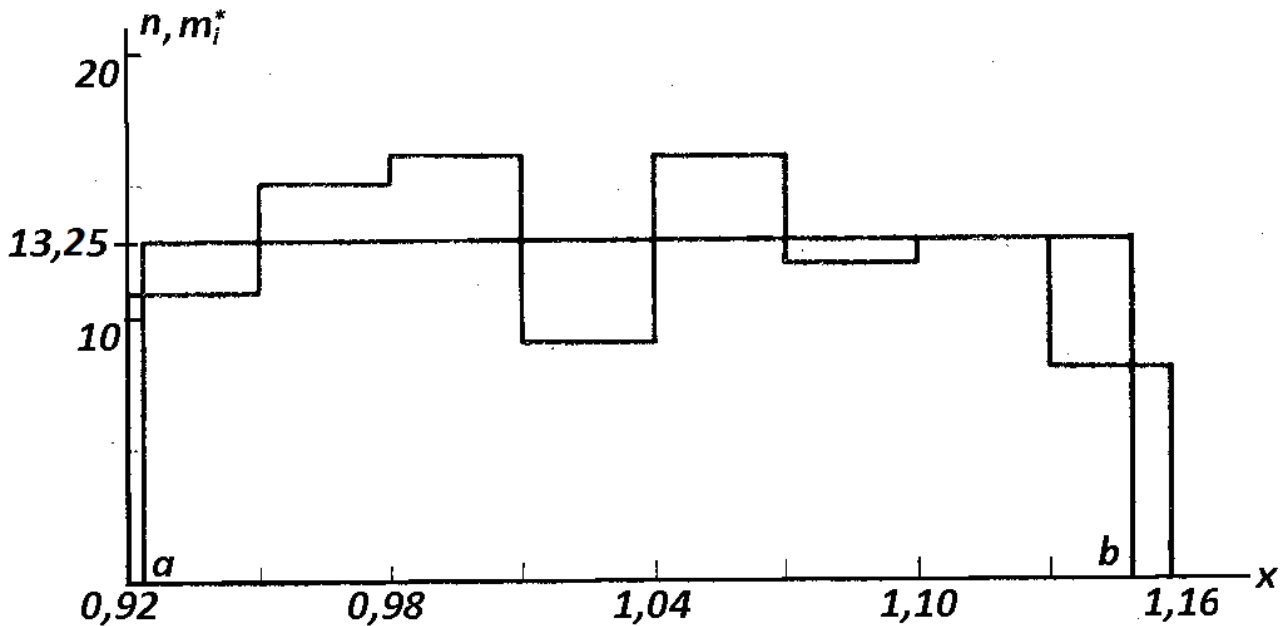


Рис. 6.2. Гистограмма кривой равной вероятности

5. Определить соответствие экспериментальной и теоретической зависимости по критерию Колмогорова

Таблица 6.4

Расчет критерия согласия А.Н. Колмогорова

№ интервала	n_j	m_j^*	накопленные n_j^*	накопленные (m_j^*)	$n_j^* - (m_j^*)$
1	11	12,81	11	12,81	1,81
2	15	13,25	26	26,06	0,06
⋮					
j	n_j	m_j	$n_j^* = \sum_1^j n_j$	$m_j^* = \sum_1^j m_j$	$n_j^* - m_j^*$

Рассчитать величину параметра λ , пользуясь выражением

$$\lambda = \frac{(n_j^* - (m_j^*))_{\max}}{N} \sqrt{N},$$

где, n^* и (m^*) - накопленные суммы частот, представляющие собой прибавление последующих частот к сумме предыдущих. Расчет ведется по табл. 6.4.

6. Сформулировать выводы

6.1. О типе распределения...

6.2. О работоспособности исследуемого объекта

Таблица 6.5.

Вероятность $P(\lambda)$ для критерия А.Н. Колмогорова

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,30	1,000	1,00	0,2700
0,35	0,9997	1,10	0,1777
0,40	0,9972	1,20	0,1122
0,45	0,9874	1,30	0,0681
0,50	0,9639	1,40	0,0397
0,55	0,9228	1,50	0,0222
0,58	0,8896	1,60	0,0120
0,60	0,8643	1,70	0,0062
0,64	0,8073	1,80	0,0032
0,65	0,7920	1,90	0,0015
0,70	0,7112	2,00	0,0007
0,75	0,6272	2,10	0,0003
0,80	0,5441	2,20	0,0001
0,85	0,4653	2,30	0,0001
0,90	0,3927	2,40	0,0000
0,95	0,3275	2,50	0,0000

Практическая работа 7 Содержание и структура риска

1. Индивидуальное задание

Таблица 7.1.

Исходные данные

№ п/п	Число аварий	L/ L ₁	Сценарий последствий			№ п/п	Число аварий	L/ L ₁	Сценарий последствий		
			P(A)	P(B)	P(B)				P(A)	P(B)	P(B)
1	130	чет- ные 49	0,50	0,35	0,15	13	110	чет- ные 54	0,50	0,35	0,15
2						14					
3						15					
4						16					
5						17					
6						18					
7	120	не- чет- ные 60	0,50	0,35	0,15	19	125	не- чет- ные 63	0,50	0,35	0,15
8						20					
9						21					
10						22					
11						23					
12						24					

2. Условия задачи

По данным Ростехнадзора на магистральных нефтепроводах за 10 лет произошло 124 аварии на длине нефтепровода $L = 49$ тыс.км. Определить частоту аварий на участке нефтепровода длиной $L_1 = 520$ км.

3. Пример выполнения

3.1. Определить среднюю частоту аварий в год

$$\lambda = 124 / 10 = 12,4 \text{ год}^{-1}$$

3.2. Определить удельную частоту аварий на тыс. км

$$\lambda_{\text{уд}} = 12,4 / 49 = 0,253 \cdot 10^{-3} (\text{тыс. км} \cdot \text{год})^{-1}$$

3.3. Определить прогнозируемую частоту аварий на участке L_1

$$\lambda_{\text{пр}} = 0,253 \cdot 10^{-3} \cdot 520 = 0,13 \text{ год}^{-1}$$

Через 8 лет произошла прогнозируемая авария со следующими сценариями возможных последствий:

1. $P(A) = 0,6$, ущерб = 200 тыс. р.

2. $P(B) = 0,3$, ущерб = 300 тыс. р.

3. $P(B) = 0,1$, ущерб = 900 тыс.р.

3.4. Построить дерево событий

	$P(A) = 0,6$ Ущерб - 200тыс.р.
Авария $P(C) = 1,00$	$P(B) = 0,3$ Ущерб - 300тыс.р.
$\lambda_{год} = 0,253 \cdot 10^{-3}$	$P(V) = 0,1$ Ущерб - 900тыс.р.

3.5. Определить частоту наиболее вероятного сценария и других

$$\lambda_A = 0,253 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 = 1,518 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_B = 0,253 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 = 7,590 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_V = 0,253 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 = 2,53 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

3.6. Определить риск наиболее опасного сценария

$$R_A = 1,518 \cdot 10^{-4} \cdot 200 = 3,036 \cdot 10^{-2} \text{ р/год}$$

$$R_B = 7,590 \cdot 10^{-5} \cdot 300 = 2,277 \cdot 10^{-2} \text{ р/год}$$

$$R_V = 2,53 \cdot 10^{-5} \cdot 900 = 2,277 \cdot 10^{-2} \text{ р/год}$$

3.7. ВЫВОД

Риски «Б» и «В» равны, но риск «В» опаснее.

Практическая работа 8 Индивидуальный риск

1. Индивидуальное задание

Таблица 8.1.

Исходные данные

№ п/п	$P_1(p);$ $P_2(p)$	Цикл $T_{ц},$ час	$t,$ мин	№ п/п	$P_1(p);$ $P_2(p)$	Цикл $T,$ час	$t,$ мин
1	Для чет- ных № $P_1(p)= 0,3$ $P_2(p)= 0,1$	14	2	13	Для чет- ных № $P_1(p)= 0,3$ $P_2(p)= 0,1$	18	2
2				14			
3				15			
4				16			
5				17			
6				18			
7	Для не- четных № $P_1(p)=0,25$ $P_2(p)=0,05$	16	2	19	Для не- четных № $P_1(p)=0,25$ $P_2(p)=0,05$	20	2
8				20			
9				21			
10				22			
11				23			
12				24			

2. Условие задачи

В опасную зону с циклом непрерывного производства $T_{ц}$ каждые 30 минут в течение 6-ти часовой смены проходит бригада из 3-х человек для отбора проб. Причем, $N = 2$ человека подходят непосредственно к агрегату и отбирают пробы в течение t минут, а 1 – остается вне помещения. Рассчитать наибольший и наименьший потенциальные риски R за время производственного цикла, если известна частота аварий $\lambda = 10^{-4}$ цикл $^{-1}$, вероятность последующих $n=3$ сценариев [утечки через уплотнения $P(c_1) = 0,85$, разрушение трубопровода $P(c_2) = 0,10$ и взрыв $P(c_3) = 0,05$] и вероятность действия $m=2$ поражающих факторов [отравление $P(p_1)$ и травма $P(p_2)$].

3. Пример выполнения (вариант 24)

3.1. Определение вероятности нахождения людей в опасной зоне за цикл производства.

1) время пребывания в опасной зоне за цикл.

$$T_0 = \frac{20}{6} \cdot \frac{6 \cdot 60}{30} \cdot 4 = 160 \text{ мин,}$$

где $\frac{20}{6}$ - количество смен в цикле,

$\frac{6 \cdot 60}{30}$ - число заходов в опасную зону.

2) вероятность нахождения людей в опасной зоне

$$P(x,y) = T_0 / T_{ц} = 160 / 20 \cdot 60 = 0,133$$

3.2. Рассчитать индивидуальный потенциальный риск при наименее опасном сценарии

$$R_{\min}(t) = \lambda \cdot P(x,y) \cdot P(c_1) \cdot P(\pi_1) \cdot N = 10^{-4} \cdot 0,133 \cdot 0,85 \cdot 0,25 \cdot 2 = 5,665 \cdot 10^{-6} \text{ цикл}^{-1}$$

3.3. Рассчитать индивидуальный потенциальный риск при наиболее опасном сценарии

$$R_{\max}(t) = \lambda \cdot P(x,y) \cdot P(c_3) \cdot [P(\pi_1) \cdot P(\pi_2)] \cdot N = \\ = 10^{-4} \cdot 0,133 \cdot 0,05 \cdot [0,25 \cdot 0,05] \cdot 2 = 1,666 \cdot 10^{-8} \text{ цикл}^{-1}$$

Контрольные вопросы

1. Какие основные объекты рассматривают в теории надёжности? Приведите примеры объектов.

2. Определение надёжности. Чем характеризуется надёжность? Что понимают под вероятностью безотказной работы?

3. Значение надёжности в технике. Приведите практический пример.

4. С помощью каких свойств, проявляющихся в эксплуатации, можно судить о том, насколько изделие оправдывает надежды изготовителя и потребителей?

5. Назначенный ресурс. Средний ресурс. Гамма-процентный ресурс.

6. Классификация отказов.

7. Параметры нормального распределения.

8. Срок службы. Срок гарантии. Ресурс.

9. Надёжность в период нормальной эксплуатации.

10. Надёжность в период постепенных отказов.

11. Как составляется структурная схема безотказности изделия?

12. Расчет надёжности последовательных систем. Как можно повысить надёжность последовательных систем?

13. Расчёт надёжности параллельных систем. Надёжны ли параллельные системы?

14. Экономические показатели надёжности.

15. Анализ надёжности методом «дерева неисправностей».

16. Зачем применяется резервирование? Виды резервов. Системы резервирования.

17. Методы количественного анализа риска.

18. Экономические методы управления риском.

19. Методы анализа риска опасности и работоспособности.

20. Организация исследований устойчивости функционирования объекта.

21. Анализ опасностей и риска промышленного объекта.

22. Человеческий фактор как источник риска.

23. Факторы производственной среды и их влияние на безопасность системы «человек – машина».

24. Законодательные решения, относящиеся к риску.

25. Экономический аспект риска.

26. Социальный аспект риска.

27. Методы и средства предупреждения производственного риска человеческого звена в системе «человек – машина».
28. Пути снижения величины риска, связанного с эксплуатацией производственного оборудования.
29. Основные положения теории риска.
30. Определение риска.
31. Приемлемый риск.
32. Экономические методы управления риском.
33. Методы анализа риска.
34. Расчет риска.
35. Управление риском.
36. Допустимый риск.

Библиографический список

1. Зубрилина Е.М. Основы надежности машин: учебное пособие / Е.М. Зубрилина, Ю.И. Жевора, А.Т. Лебедев и др. СГАУ.- Ставрополь, 2010.- 119с.
2. Пучин Е.А., Дидманидзе О.И., Лезин П.П., Лисунов Е.А., Кравченко И.Н. Надежность технических систем: Учебник для вузов. – М.: УМЦ «Триада», 2005. – 353 с.
3. Чура Н.Н. Техногенный риск / Н.Н. Чура.М.: КНОРУС, 2014.- 280с.
4. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика/ Р.И. Ивановский. СПб.: 2008.
5. ГОСТ Р 51901.13–2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. – М.: Стандартиформ, 2005. – 16 с.
6. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Госстандарт СССР, 1992. – 68 с.
7. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. – М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 37 с.

Учебное издание

Кохановский Вадим Алексеевич

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

Печатается в авторской редакции

Технический редактор Т.В. Бродская

Подписано в печать 15.11.17. Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,09.
Тираж экз. № 9062. Заказ

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета:
344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.