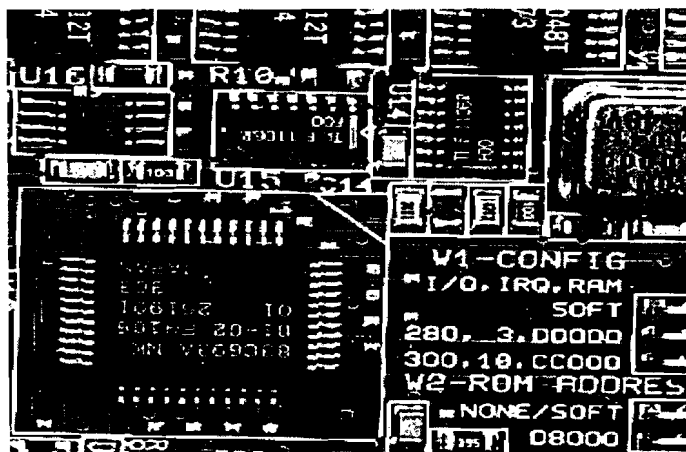


**А.К. ХМЕЛЬНИЦКИЙ, В.В. ПОЖИТКОВ,
Г.А. КОНДРАШКОВА**

**ЗАДАЧНИК
ПО ДИАГНОСТИКЕ
И НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**Санкт - Петербург
2005**

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Санкт-Петербургский государственный
технологический университет
растительных полимеров

А.К. Хмельницкий, В.В. Пожитков, Г.А. Кондрашкова

**ЗАДАЧНИК
ПО ДИАГНОСТИКЕ
И НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ**

Учебное пособие

Санкт – Петербург
2005

ББК 32.965 я 7
Х 657

УДК 519.24 (075)

ХМЕЛЬНИЦКИЙ А. К., ПОЖИТКОВ В.В., КОНДРАШКОВА Г.А.

Задачник по диагностике и надежности автоматизированных систем:
Учебное пособие/ ГОУВПО СПбГТУ РП. СПб, 2005. 64 с.: ил. 35.

Задачник составлен в соответствии с программой курса «Диагностика и надежность автоматизированных систем». Содержит задачи и необходимые приложения для их решения. Предназначен для студентов специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» всех форм обучения.

Рецензенты: профессор Санкт - Петербургского государственного технологического института (технического университета), доктор технических наук Русинов Л.А.; профессор Санкт-Петербургской академии холода и пищевых технологий, доктор технических наук Болюбаш В.А.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

ББК 32.965 я 7

© ГОУВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных полимеров,
2005.

© Хмельницкий Артур Константинович,
Пожитков Владимир Васильевич,
Кондрашкова Галина Анатольевна,
2005

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий задачник посвящен задачам по дисциплине «Диагностика и надежность автоматизированных систем» для закрепления теоретических знаний и практики использования основных методов расчета и оценки критериев надежности и диагностических процедур.

Задачник состоит из двух разделов. В первом представлены задачи для расчета основных количественных критериев надежности, а второй содержит задачи по оптимальному выбору проверок, которые обеспечивают поиск неисправных элементов системы за кратчайший период времени.

Задачи содержат несколько вариантов для того, чтобы каждый студент смог самостоятельно решать заданные задачи. Сложные задачи, которые обычно вызывают трудности у студентов, содержат пример решения.

В задачнике представлен ряд задач для отыскания решения, которых необходимы специальные справочные данные и номограммы, они представлены в приложениях (Приложение 1-5). Библиографический список необходимой литературы для решения задач прилагается [1-8].

Естественно, задачи, представленные в задачнике, не охватывают все случаи, которые встречаются на практике при определении надежности и организации диагностики, но методика подхода к их решению может быть аналогичной.

Раздел 1. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ

Глава 1. Расчет критериев надежности для невосстанавливаемых систем

Задача 1

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени t часов отказало R образцов. Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$. Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	1000	1200	2000	3000	4000	5000	1500	2500	4500
$t, \text{ч}$	100	200	300	250	400	150	120	450	230
R	200	150	400	250	500	400	300	200	120

Задача 2

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени t часов отказало R образцов. Требуется определить вероятность отказов $Q(t)$. Исходные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	1250	1300	2400	2500	4100	5400	1500	2500	4800
$t, \text{ч}$	140	100	330	250	420	180	120	500	250
R	300	250	400	270	504	420	300	100	120

Задача 3

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Вероятность безотказной работы систем за t часов $P(t)$. Определите вероятность отказов систем за t часов. Исходные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	1250	1300	2400	2500	4100	5400	1500	2500	4800
$t, \text{ч}$	140	100	330	250	420	180	120	500	250
$P(t)$	0,5	0,67	0,7	0,72	0,8	0,81	0,83	0,87	0,9

Задача 4

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени t часов отказало R образцов. Требуется определить частоту отказов $a(t)$. Исходные данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	1500	1550
$t, \text{ч}$	180	190	200	210	250	230	300	250	150
R	200	100	50	70	85	78	30	90	120

Задача 5

Пусть на испытании находилось 1500 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени 250 часов отказало 300 образцов. Требуется определить интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Задача 6

Пусть на испытании находилось 1000 образцов, некоторой невосстанавливаемой системы и отказы фиксировались через каждые 100 часов работы, результаты представлены в табл. 5. Требуется определить: вероятность безотказной работы, вероятность отказов, интенсивность отказов и частоту отказов на каждом участке времени, а также построить графики зависимости всех вышеперечисленных параметров от времени.

Таблица 5

Результаты испытаний

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta t, \text{ч}$	R, штук						
0-100	50	60	40	75	85	80	35
100-200	40	48	32	60	68	64	28
200-300	32	38	26	48	54	51	22
300-400	25	30	20	38	43	40	18
400-500	20	24	16	30	34	32	14
500-600	17	20	14	26	29	27	12
600-700	16	19	13	24	27	26	11
700-800	16	19	13	24	27	26	11
800-900	15	18	12	23	26	24	11
900-1000	14	17	11	21	24	22	10
1000-1100	15	18	12	23	26	24	11
1100-1200	14	17	11	21	24	22	10
1200-1300	14	17	11	21	24	22	10
1300-1400	13	16	10	20	22	21	9
1400-1500	14	17	11	21	24	22	10
1500-1600	13	16	10	20	22	21	9
1600-1700	13	16	10	20	22	21	9
1700-1800	13	16	10	20	22	21	9
1800-1900	14	17	11	21	24	22	10
1900-2000	12	14	10	18	20	19	8
2000-2100	12	14	10	18	20	19	8

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7
Δt , ч	R, штук						
2100-2200	13	16	10	20	22	21	9
2200-2300	12	14	10	18	20	19	8
2300-2400	13	16	10	20	22	21	9
2400-2500	14	17	11	21	24	22	10
2500-2600	16	19	13	24	27	26	11
2600-2700	20	24	16	30	34	32	14
2700-2800	25	30	20	38	43	40	18
2800-2900	30	36	24	45	51	48	21
2900-3000	40	48	32	60	68	64	28

Решим первый вариант задачи. Определим сначала вероятность безотказной работы для всех отрезков времени:

$$P(t) = \frac{(N_0 - R(t))}{N_0},$$

где N_0 – количество образцов в начальный момент времени;

$R(t)$ - количество отказов образцов.

$$P(100) = \frac{(1000-50)}{1000} = 0,95 ,$$

$$P(200) = \frac{(1000-90)}{1000} = 0,91 ,$$

.....

$$P(3000) = \frac{(1000-575)}{1000} = 0,425 .$$

На основании полученных результатов строим график зависимости вероятности безотказной работы системы от времени (рис. 1).

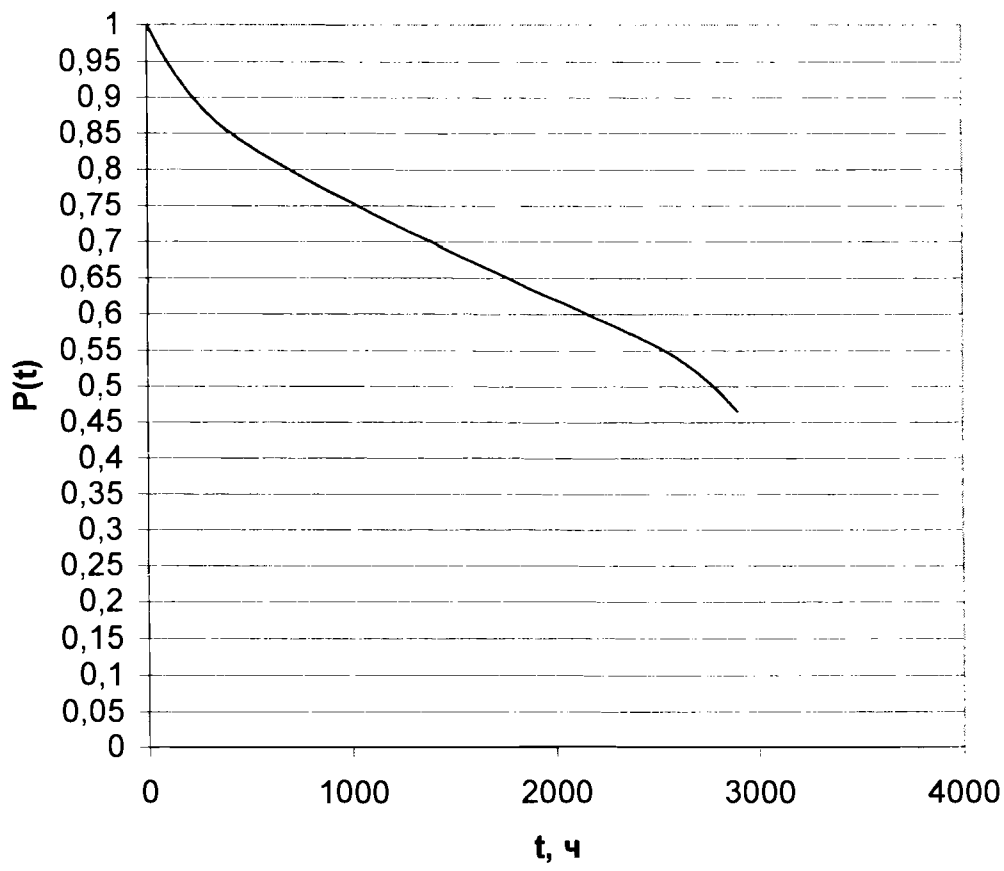


Рис. 1. Зависимость вероятности безотказной работы системы от времени

Затем рассчитываем вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t) ,$$

$$Q(100) = 1 - 0,95 = 0,05 ,$$

$$Q(200) = 1 - 0,91 = 0,09 ,$$

.....

$$Q(3000) = 1 - 0,425 = 0,575 .$$

По полученным данным строится график зависимости вероятности отказов системы от времени (рис. 2).

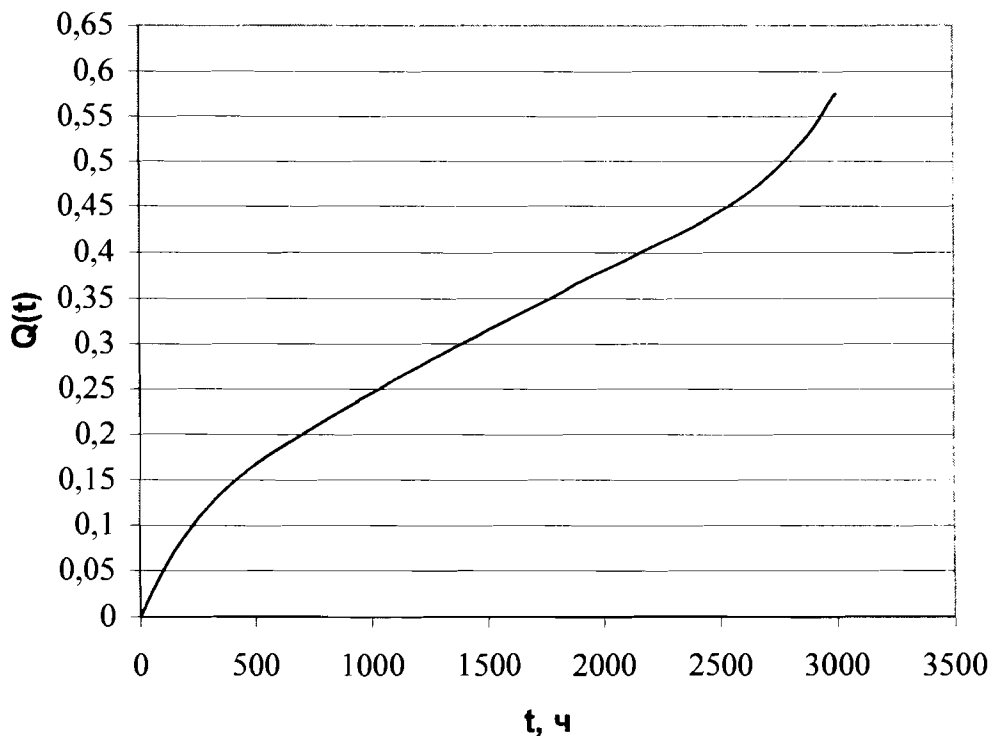


Рис. 2. Зависимость вероятности отказов системы от времени

Теперь определим частоту отказов системы на отрезках времени:

$$a(t) = \frac{R(t)}{N_0 \Delta t} ,$$

$$a(50) = \frac{50}{1000 \cdot 100} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} ,$$

$$a(150) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} ,$$

.....

$$a(2950) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} .$$

По полученным данным строится график зависимости частоты отказов системы от времени (рис. 3).

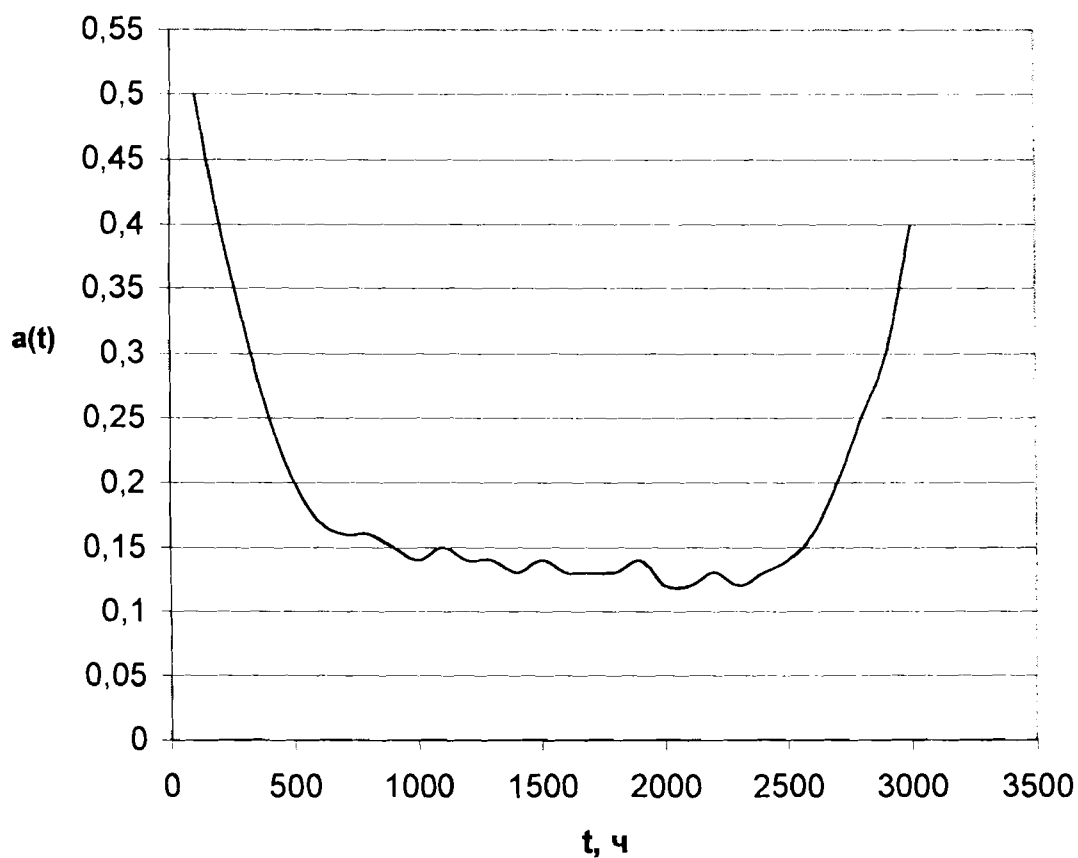


Рис. 3. Зависимость частоты отказов системы от времени

Теперь определим интенсивность отказов на отрезках времени:

$$\lambda(t) = \frac{R(t)}{N_{cp} \Delta t} ,$$

$$\lambda(50) = \frac{50}{\frac{1000+950}{2} \cdot 100} = 0,514 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} ,$$

$$\lambda(150) = \frac{40}{\frac{950 + 910}{2} \cdot 100} = 0,43 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} ,$$

.....

Построим график зависимости интенсивности отказов системы от времени (рис. 4).

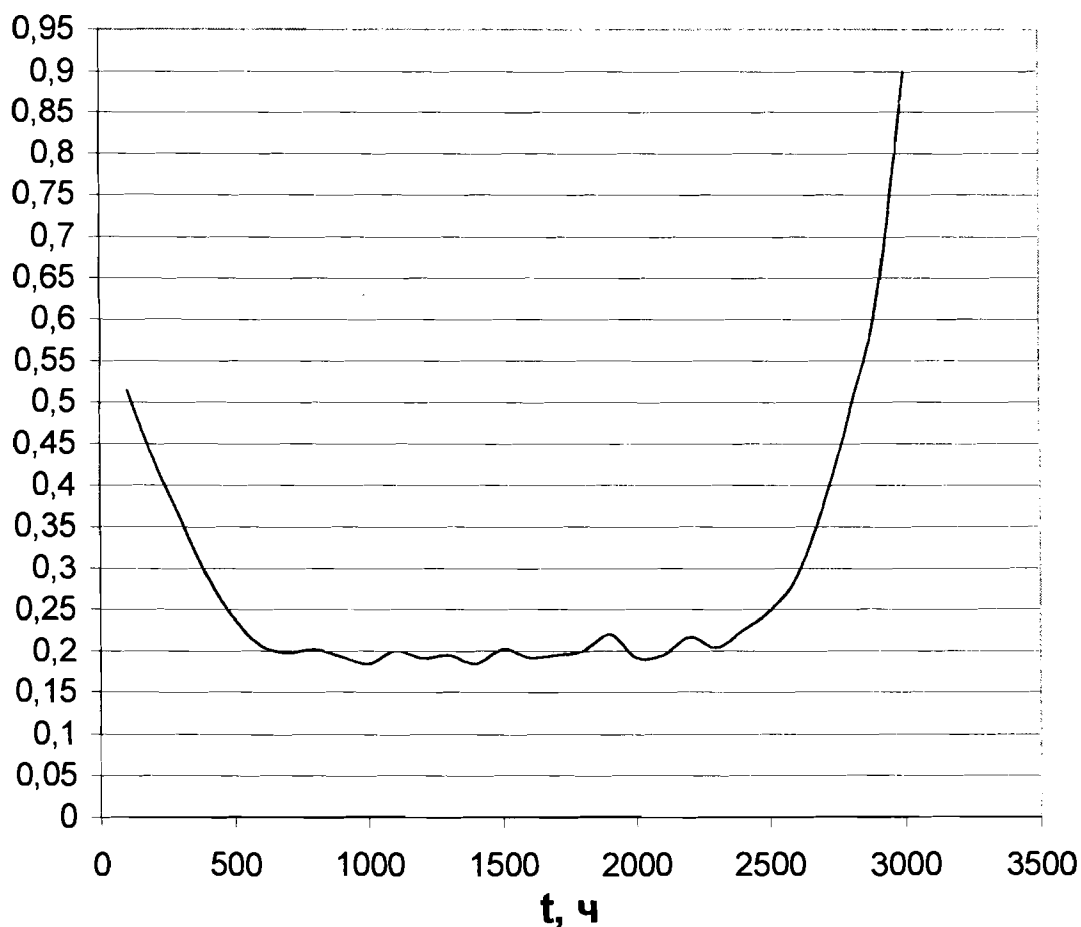


Рис. 4. Зависимость интенсивности отказов системы от времени

Задача 7

В процессе эксплуатации 1000 систем учитывалось число отказов каждые 100 часов результаты представлены в табл. 6. Определите среднее время исправной работы за: а) 900 часов; б) 600 часов; в) 300 часов.

Таблица 6

Результаты эксплуатации

Δt , ч	0	100	200	300	400	500	600	700	800
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
R	20	25	35	50	30	50	40	45	47

Задачи 8

Какова вероятность безотказной работы системы в начальный момент времени?

Задача 9

На испытание поставлено N_0 образцов. За период времени t часов произошло R_c сбоев. Необходимо определить вероятность бессбойной работы образцов. Результаты эксплуатации представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты эксплуатации

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	100	200	230	150	220	120	130	140	150
t , ч	10	20	40	30	50	15	30	60	50
R_c	5	10	12	16	20	25	20	2	5

Задача 10

На испытание поставлено 5 образцов. Первый проработал безотказно 1 час, второй 3 часа, третий 2 часа, четвертый 4 часа, пятый 1 час. Необходимо определить среднее время безотказной работы.

Задача 11

Определить средний срок сохраняемости, если интенсивность отказов при хранении λ_c (табл. 8).

Таблица 8

Значения интенсивность отказов при хранении

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_c \cdot 10^{-2}, \text{ч}^{-1}$	0,1	0,12	0,13	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17

Задача 12

Пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 500 часов $p(500) = 0,71$ и вероятность безотказной работы элемента за 1000 часов $p(1000) = 0,56$ (рис. 5). Необходимо определить вероятность безотказной работы элемента, проработавшего 500 часов, за промежуток времени от 500 до 1000 часов.

Задача 13

Пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 300 часов $p(300) = 0,8$ и вероятность безотказной работы элемента за 700 часов $p(700) = 0,5$ (рис. 6). Необходимо определить вероятность безотказной работы элемента, проработавшего 300 часов, за промежуток времени от 300 до 700 часов

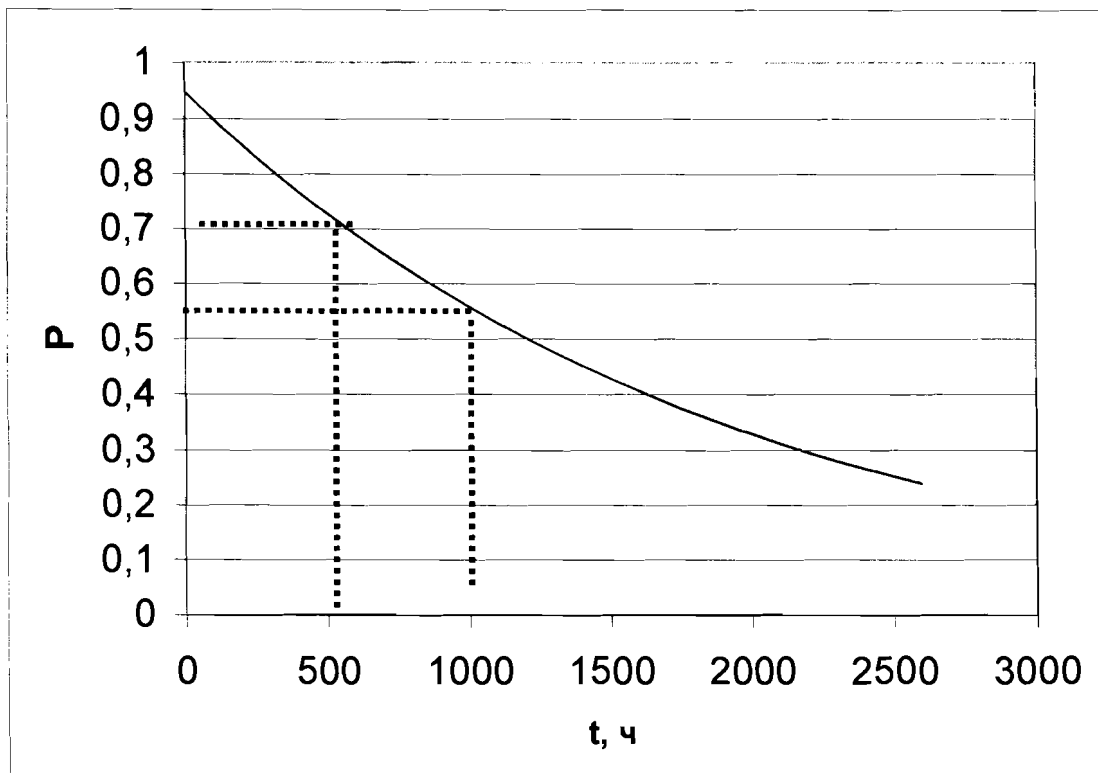


Рис. 5. График изменения вероятности безотказной работы со временем

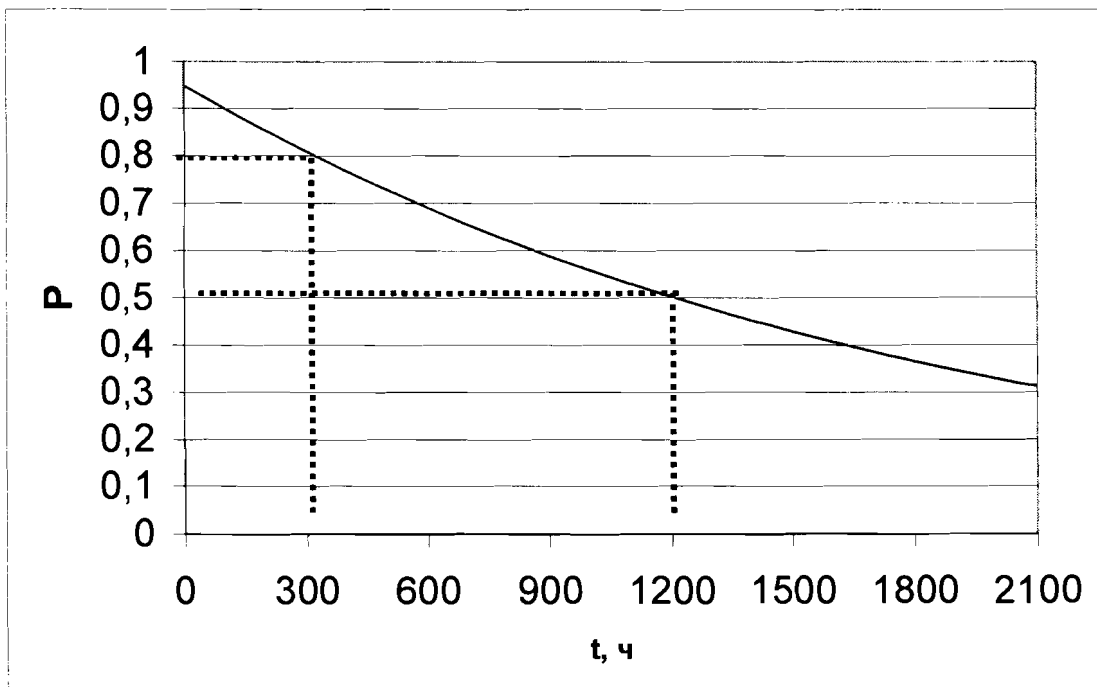


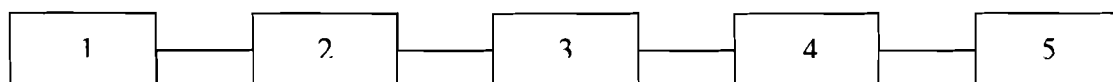
Рис. 6. График изменения вероятности безотказной работы со временем

Задача 14

Пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 120 часов $p(120) = 0,9$ и вероятность безотказной работы элемента за 300 часов $p(300) = 0,45$. Требуется определить вероятность отказа за интервал времени от 120 до 300 часов.

Задача 15

Имеется система, состоящая из 5 последовательно соединенных элементов (рис. 7) с вероятностями безотказной работы за период времени 2000 часов соответственно 0,65; 0,78; 0,85; 0,8; 0,9.



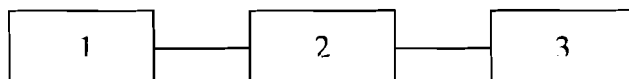
$$p_1(2000) = 0,65 \quad p_2(2000) = 0,78 \quad p_3(2000) = 0,85 \quad p_4(2000) = 0,8 \quad p_5(2000) = 0,9$$

Рис. 7. Система, состоящая из 5 последовательно соединенных элементов

Необходимо определить вероятность безотказной работы системы за период времени 2000 часов.

Задача 16

Имеется система, состоящая из 3 последовательно соединенных элементов (рис. 8) с вероятностями безотказной работы за период времени 1000 часов соответственно 0,7; 0,82; 0,8.



$$p_1(1000) = 0,7 \quad p_2(1000) = 0,82 \quad p_3(1000) = 0,8$$

Рис. 8. Система, состоящая из 3 последовательно соединенных элементов

Необходимо определить вероятность безотказной работы системы за период времени 1000 часов.

Задача 17

Определите вероятность отказов системы, состоящей из 4 последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы 0,87, за период времени 300 часов.

Задача 18

Определите вероятность безотказной работы системы состоящей из 3 последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы 0,87 за период времени 100 часов.

Задача 19

Имеется система, состоящая из пяти независимых последовательно соединенных элементов (рис. 9). Каждый из элементов имеет экспоненциальное распределение времени безотказной работы с параметрами $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ и λ_5 . Значения интенсивностей отказов элементов представлены в табл. 9. Определите вероятность безотказной работы системы.

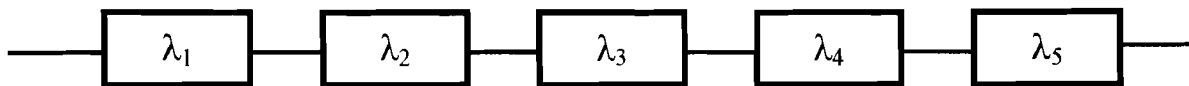


Рис. 9. Схема соединения элементов

Таблица 9

Значения интенсивности отказов элементов и времени наработки

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_1, \text{ч}^{-1}$	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01	0,07	0,09	0,06	0,05
$\lambda_2, \text{ч}^{-1}$	0,03	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,02	0,01	0,01
$\lambda_3, \text{ч}^{-1}$	0,1	0,09	0,02	0,05	0,08	0,03	0,12	0,11	0,09
$\lambda_4, \text{ч}^{-1}$	0,02	0,01	0,02	0,01	0,1	0,04	0,11	0,04	0,02
$\lambda_5, \text{ч}^{-1}$	0,06	0,08	0,04	0,02	0,09	0,06	0,04	0,07	0,06
t, ч	0,5	0,4	0,8	0,9	1	1	1	0,6	0,7

Задача 20

Имеется система, состоящая из 3 независимых последовательно соединенных элементов (рис. 10). Каждый из элементов имеет экспоненциальное распределение времени безотказной работы с параметрами λ_1 , λ_2 и λ_3 . Значения интенсивностей отказов элементов представлены в табл. 10. Определите вероятность отказов системы.

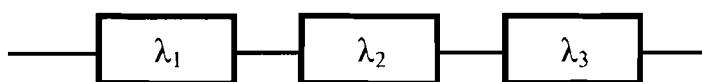


Рис. 10. Схема соединения элементов

Таблица 10

Значения интенсивности отказов элементов и времени наработки

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_1, \text{ч}^{-1}$	0,06	0,02	0,04	0,03	0,01	0,07	0,09	0,06	0,08
$\lambda_2, \text{ч}^{-1}$	0,03	0,06	0,05	0,07	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01
$\lambda_3, \text{ч}^{-1}$	0,12	0,09	0,02	0,05	0,08	0,03	0,13	0,11	0,09
t, ч	0,6	0,3	0,6	0,9	0,7	0,8	0,4	0,6	0,7

Задача 21

Поставлено 100 систем на восстановление, из них только 50 систем восстановилось менее чем за 30 часов, а время восстановления остальных систем составило больше 30 часов. Определить вероятность восстановления систем за 30 часов.

Задача 22

Поставлено 150 систем на восстановление, из них только 60 систем восстановилось менее чем за 20 часов, а время восстановления остальных систем составило больше 20 часов. Определить вероятность того, что восстановление систем не произойдет за 20 часов.

Задача 23

Вероятность безотказной работы системы за 200 часов составляет 0,94, интенсивность отказа составляет $\lambda(200) = 0,29 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$. Определите частоту отказа системы за 200 часов.

Задача 24

Вероятность безотказной работы системы за 250 часов составляет 0,96, интенсивность отказа составляет $\lambda(250) = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите частоту отказа системы за 250 часов.

Задача 25

Вероятность безотказной работы системы за 300 часов составляет 0,96, интенсивность отказа составляет $\lambda(300) = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите частоту отказа системы за 300 часов.

Задача 26

В результате эксплуатации N_0 образцов системы была зафиксирована R неисправностей. При этом каждый из испытываемых образцов исправно проработал t часов. Необходимо определить среднее время между соседними отказами. Результаты эксплуатации представлены в табл. 11.

Таблица 11

Результаты эксплуатации

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_0	36	40	35	40	35	37	38	41	42
R	231	240	260	250	235	255	236	237	248
t, ч	19	20	25	20	17	18	22	23	24

Задача 27

Определите общую интенсивность отказов, если первая группа однотипных по надежности элементов состоит из 2 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_1(t) = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, вторая группа состоит из 4 элементов с интенсивностью

отказов $\lambda_2(t)=0,3 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, а третья группа из 3 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_3(t)=0,4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

Задача 28

Определите общую интенсивность отказов, если первая группа однотипных по надежности элементов состоит из 5 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_1(t) = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, вторая группа состоит из 3 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_2(t)=0,6 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, а третья группа из 4 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_3(t)=0,2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

Задача 29

Частота отказов системы $a(t)$, система состоит из N_0 элементов. Определите сколько элементов откажет за t часов. Значения $a(t)$, N_0 и t представлены в табл. 12.

Таблица 12

Значения $a(t)$, N_0 и t

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a(t) \cdot 10^{-4}, \text{ ч}^{-1}$	0,25	0,24	0,26	0,3	0,4	0,35	0,5	0,6	0,7
N_0	100	120	130	140	150	100	120	90	80
$t, \text{ ч}$	400	500	300	200	250	350	500	600	700

Задача 30

Интенсивность отказов системы $\lambda(t)$. Определите среднее время безотказной работы системы. Значения интенсивности отказов систем приведены в табл. 13.

Таблица 13

Значения интенсивности отказов систем

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	0,2	0,25	0,27	0,23	0,26	0,22	0,3	0,18	0,17

Глава 2. Расчет критериев надежности для восстанавливаемых систем

Задача 31

На испытании находилось 4 системы, фиксировались отказы и время, затраченное на восстановление работоспособного состояния систем, результаты испытаний приведены в табл. 14. Определите среднее время восстановления для 4 систем.

Таблица 14

Время восстановления работоспособности

№ системы	Номер отказа									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время, затраченное на восстановление работоспособности системы, ч										
1	28	2	5	4	-	3	2	1	-	4
2	-	2	10	3	8	-	-	12	9	5
3	17	3	4	2	1	8	6	4	9	14
4	12	1	2	6	5	3	2	15	3	1

Задача 32

На испытание поставлено 1000 систем. За 100 часов произошло 100 отказов. Определите среднюю частоту отказов за 100 часов.

Задача 33

На испытание поставлено 500 систем. За 80 часов произошло 100 отказов. Определите среднюю частоту отказов за 80 часов.

Задача 34

Интенсивность ремонта системы $\mu = 0,256 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите ремонтпригодность системы за 1 час, если известно, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения времени ремонта.

Задача 35

Интенсивность ремонта системы $\mu = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите ремонтпригодность системы за 2 часа, если известно, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения времени ремонта.

Задача 36

Определите среднее время восстановления, если известно среднее время контроля, среднее время поиска дефекта и среднее время устранения дефекта (табл. 15).

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_k , ч	10	9	8	7	11	12	10	6	11
T_d , ч	4	2	3	4	5	5	3	3	2
$T_{\text{уср.д}}$, ч	2	1	3	3	1	2	3	2	3

Глава 3. Эксплуатационные критерии надежности систем

Задача 38

Определите коэффициент готовности, если время безотказной работы системы t_p часов, а время восстановления системы t_b часов. Значения времени безотказной работы системы и времени ее восстановления представлены в табл. 16.

Таблица 16

Значения времени безотказной работы системы
и времени ее восстановления

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_p , ч	100	80	67	56	66	55	80	87	45
t_b , ч	20	10	15	16	9	5	14	11	6

Задача 39

Среднее число исправных комплектов 25, общее число комплектов системы 100 штук. Определите коэффициент готовности.

Задача 40

Коэффициент готовности системы K_r , а вероятность безотказной работы системы $P(t)$. Определите коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$. Значения коэффициента готовности системы и вероятности безотказной работы системы представлены в табл. 17.

Таблица 17

Значения коэффициент готовности системы и вероятности безотказной работы системы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_r	0,6	0,7	0,65	0,72	0,68	0,77	0,75	0,74	0,8
$P(t)$	0,85	0,89	0,82	0,9	0,79	0,76	0,72	0,65	0,92

Задача 41

Определите коэффициент вынужденного простоя, если время безотказной работы системы 20 часов, а время восстановления системы 5 часов.

Задача 42

Коэффициент готовности системы K_r . Определите коэффициент вынужденного простоя. Значения коэффициента готовности системы представлены в табл. 18.

Таблица 18

Значения коэффициента готовности системы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_r	0,6	0,5	0,8	0,78	0,55	0,65	0,82	0,54	0,45

Задача 43

Определите коэффициент профилактики, если время безотказной работы системы 15 часов, а время восстановления системы 5 часов.

Задача 44

Определите коэффициент профилактики, если время безотказной работы системы 20 часов, а время восстановления системы 10 часов.

Задача 45

Определите эффективность профилактики системы W , если известна наработка на отказ профилактируемой системы $T_{пф}$ часов и наработка на отказ непрофилактируемой системы $T_{нпф}$ часов. Значения наработки на отказ профилактируемой системы и непрофилактируемой системы представлены в табл. 19.

Таблица 19

Значения наработки на отказ профилактируемой системы и непрофилактируемой системы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{пф}, ч$	100	150	200	100	250	400	300	350	100
$T_{нпф}, ч$	50	100	100	50	110	100	150	50	10

Задача 46

Число отказов непрофилактируемой системы за 100 часов эксплуатации $N_{\text{нпф}}=50$, число отказов профилактируемой системы за 100 часов эксплуатации $N_{\text{пф}}=10$. Определите эффективность профилактики.

Задача 47

Система состоит из 200 элементов, элементов i -го типа 50 штук. Всего произошло 30 отказов, из них элементов i -го типа наблюдалось 5 отказов. Определите относительный коэффициент отказов.

Задача 48

Стоимость изготовления системы составляет 100000 руб., а стоимость эксплуатации системы в течение одного года составляет 1000 руб. Определите коэффициент стоимости эксплуатации.

Задача 49

Стоимость изготовления системы составляет 500000 руб., а стоимость эксплуатации системы в течение одного года составляет 10000 руб. Определите коэффициент стоимости эксплуатации.

Глава 4. Виды распределений вероятностей, используемые в теории надежности

Задача 50

В партии микросхем из 100 штук вероятность неработоспособного состояния составляет 0,06. Какая вероятность того, что в выборке из четырех элементов хотя бы одна микросхема будет в неработоспособном состоянии?

Задача 51

В партии микросхем из 150 штук вероятность неработоспособного состояния составляет 0,08. Какая вероятность того, что в выборке из четырех элементов хотя бы одна микросхема будет в неработоспособном состоянии?

Задача 52

В партии микросхем из 125 штук вероятность неработоспособного состояния составляет 0,09. Какая вероятность того, что в выборке из трех элементов хотя бы одна микросхема будет в неработоспособном состоянии?

Задача 53

Интенсивность отказов системы $\lambda=0,46 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$. Известно, что в системе экспоненциальный закон распределения надежности. Определите вероятность безотказной работы системы за 1000 часов.

Задача 54

Имеется 100 элементов, из них 80 – РБС (работоспособных), 20 – НРС (неработоспособных). Найдите правило расчета вероятности, если делать выборки из одного, двух и т.д. элементов.

Задача 55

Имеется 100 элементов, из них 70 – РБС, 30 – НРС. Найдите правило расчета вероятности, если делать выборки из одного, двух и т.д. элементов.

Задача 56

Среднее число отказов элементов сложного устройства в 1 минуту равно 2. Найти вероятности того, что за 5 минут наступит два отказа.

Задача 57

Среднее число отказов элементов сложного устройства в 1 минуту равно 3. Найти вероятности того, что за 3 минуты наступит два отказа.

Задача 58

Среднее число отказов элементов сложного устройства в 1 минуту равно 4. Найти вероятности того, что за 5 минут наступит менее двух отказов.

Задача 59

Среднее число отказов элементов сложного устройства в 1 минуту равно 2. Найти вероятности того, что за 5 минут наступит не менее двух отказов.

Задача 60

Испытывалось 10 невосстанавливаемых систем в течение 100 часов, за это время произошло 2 отказа. Вероятность отказа каждой системы 10%. Определить вероятность безотказной работы системы за этот период.

Задача 61

В эксплуатацию следует ввести 10 систем (невосстанавливаемых в течение эксплуатации). Вероятность отказа каждой системы составляет 10%. Определите зависимость отказа систем от числа отказов.

Глава 5. Резервирование

Задача 62

Какие виды резервирования использовались в схемах, изображенных на рис. 11. – 14 ?

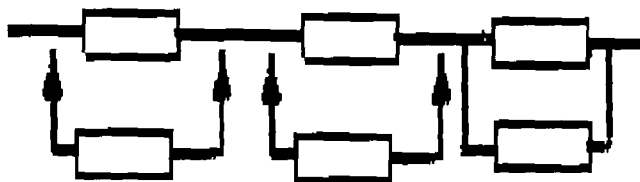


Рис. 11. Схема резервирования

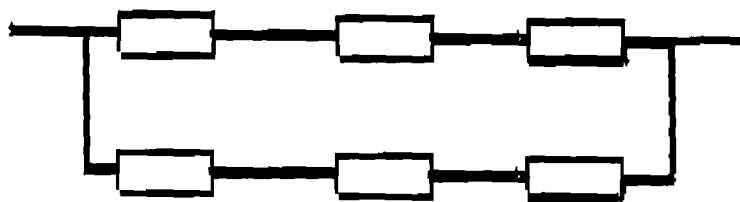


Рис. 12. Схема резервирования

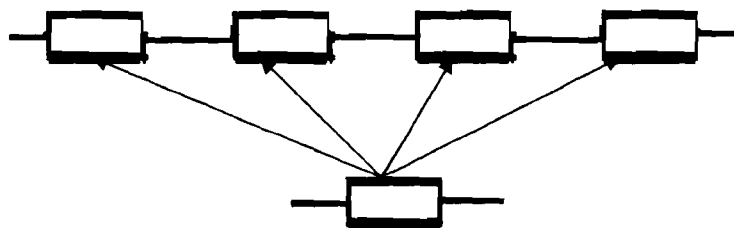


Рис. 13. Схема резервирования

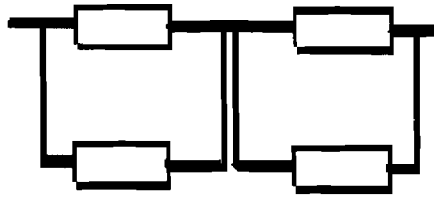


Рис. 14. Схема резервирования

Задача 63

Какова кратность резервирования схемы, изображенной на рис. 15?

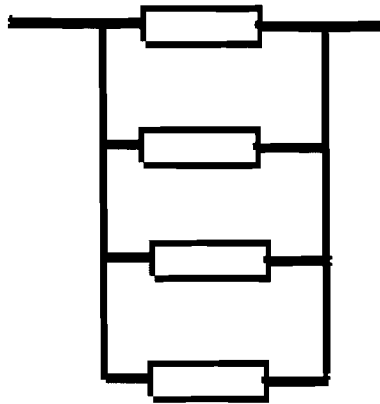


Рис. 15. Схема резервирования

Задача 64

Определите вероятность безотказной работы для системы, изображенной на рис. 16 и на рис. 17, если известно, что элементы в системе имеют одинаковую вероятность безотказной работы $p_i(100)=0,78$.

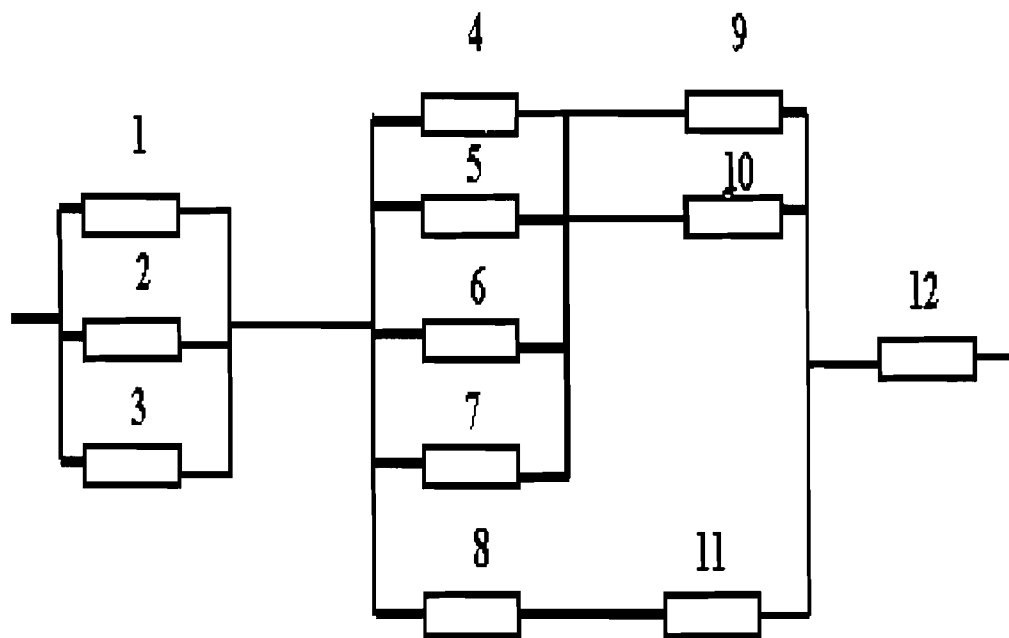


Рис. 16. Схема соединения основных и резервных элементов

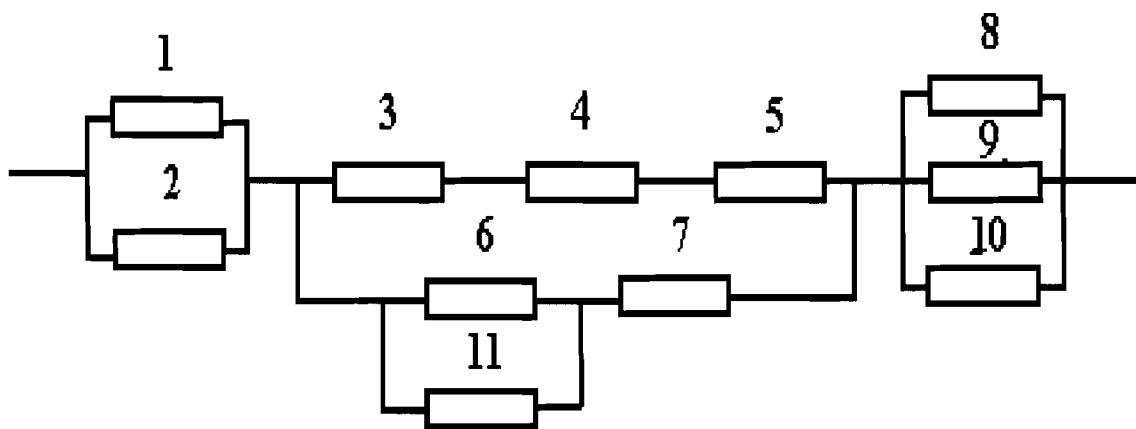


Рис. 17. Схема соединения основных и резервных элементов

Задача 65

Определите вероятность отказа системы, изображенной на рис. 18 и на рис. 19, если известно, что элементы в системе имеют одинаковую вероятность безотказной работы $p_i(100)=0,8$.

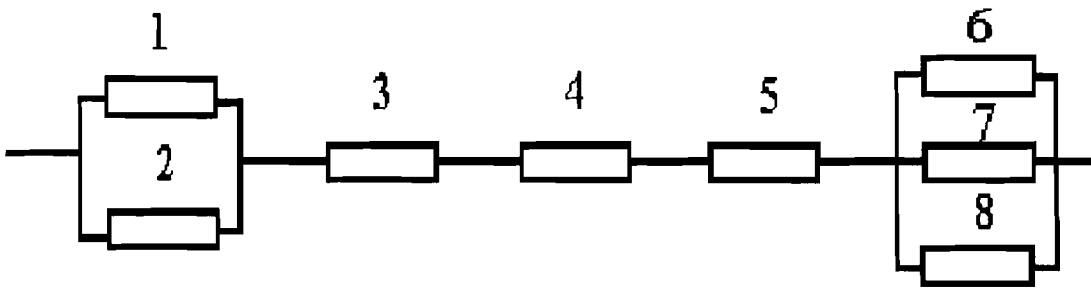


Рис. 18. Схема соединения основных и резервных элементов

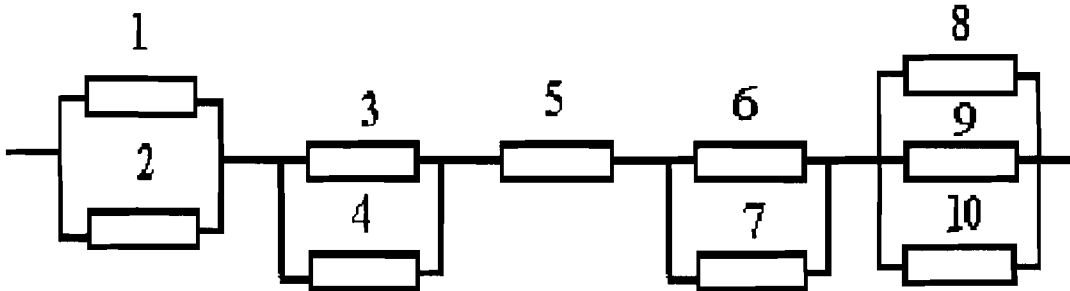


Рис. 19. Схема соединения основных и резервных элементов

Задача 66

Определите вероятность безотказной работы системы и вероятность отказа, изображенной на рис. 20 и на рис. 21, если известно, что элементы в системе имеют одинаковую вероятность безотказной работы $p_i(100)=0,5$.

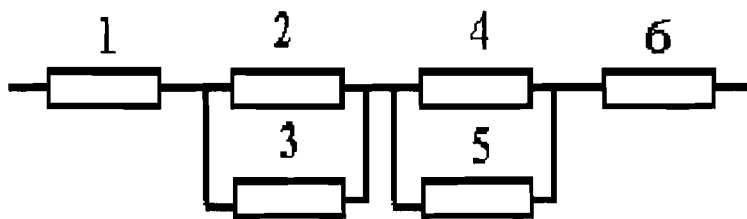


Рис. 20. Схема соединения основных и резервных элементов

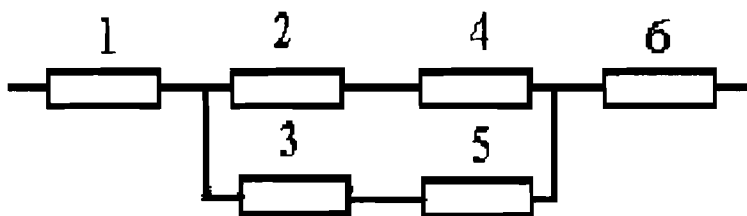


Рис. 21. Схема соединения основных и резервных элементов

Задача 67

Система состоит из 40 элементов равной надежности с вероятностью исправной работы 0,87. Необходимо определить, какой способ резервирования следует применить (поэлементное резервирование или общее без замещения) и во сколько раз повысится надежность системы, если допускается брать не более 80 резервных элементов.

Задача 68

Система состоит из 30 элементов равной надежности с вероятностью исправной работы 0,9. Необходимо определить, какой способ резервирования следует применить (поэлементное резервирование или общее без замещения) и во сколько раз повысится надежность системы, если допускается брать не более 90 резервных элементов.

Задача 69

Необходимо определить вероятность безотказной работы систем, элементы расчета которой соединены по схемам, изображенным на рис. 22- 25. Вероятность безотказной работы элементов $p_1 = 0,83$; $p_2 = 0,87$; $p_3 = 0,9$; $p_4 = 0,94$; $p_5 = 0,92$; $p_6 = 0,95$; $p_7 = 0,9$.

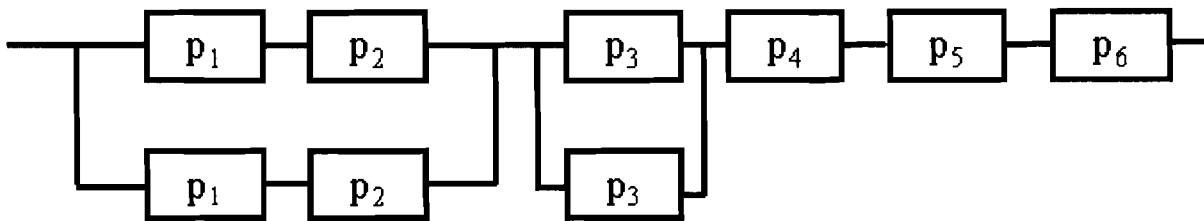


Рис. 22. Схема соединения основных и резервных элементов

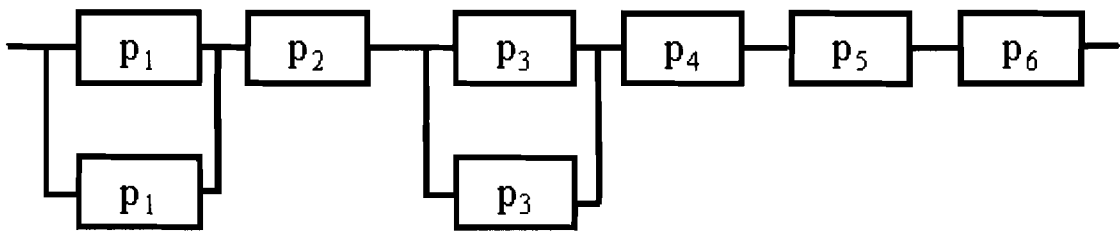


Рис. 23. Схема соединения основных и резервных элементов

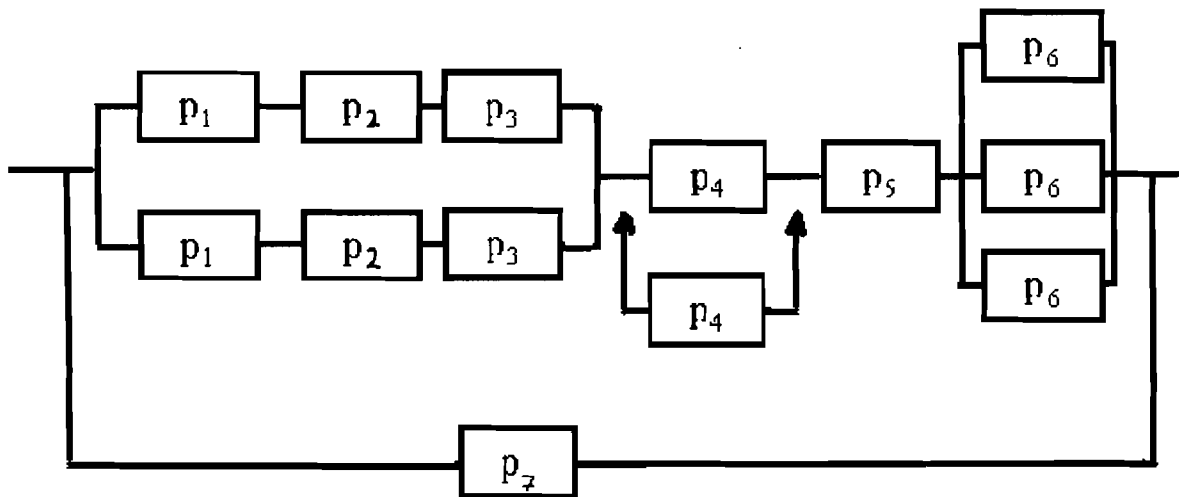


Рис. 24. Схема соединения основных и резервных элементов

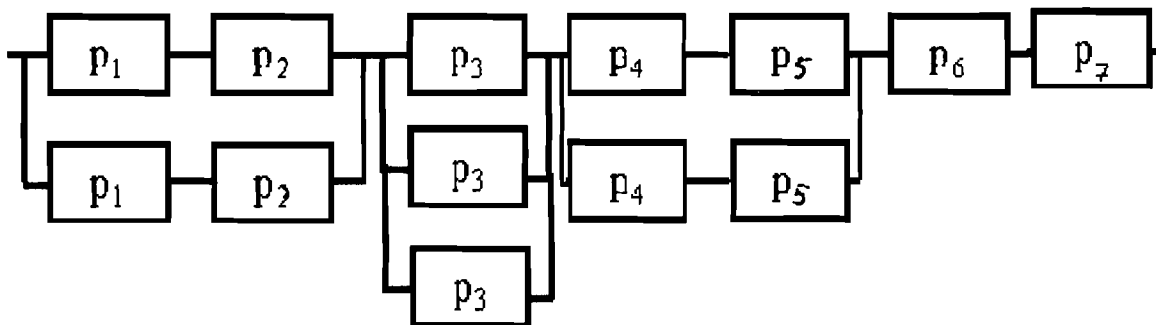


Рис. 25. Схема соединения основных и резервных элементов

Задача 70

Имеется схема с постоянно включенным резервом, имеющая кратность резервирования 4, интенсивность отказов основной системы – $0,02 \text{ час}^{-1}$. Система предназначена для непрерывной работы в течение 50 часов. Требуется определить вероятность безотказной работы системы с резервированием, интенсивность отказов системы с резервированием, частоту отказов системы с резервированием, а так же среднее время безотказной работы системы с резервированием.

Задача 71

Система состоит из 10 равнонадежных элементов, вероятность безотказной работы каждого элемента 0,87. Сколько необходимо резервных элементов при обоих способах резервирования (общем постоянном и раздельном постоянном) для того, чтобы вероятность безотказной работы системы составляла 0,95.

Задача 72

Система состоит из 20 равнонадежных элементов, вероятность безотказной работы каждого элемента 0,82. Сколько необходимо резервных элементов при обоих способах резервирования (общем постоянном и раздельном постоянном) для того, чтобы вероятность безотказной работы системы составляла 0,97.

Задача 73

Система состоит из 15 равнонадежных элементов, вероятность безотказной работы каждого элемента 0,8. Сколько необходимо резервных элементов при

общем постоянном резервировании для того, чтобы вероятность безотказной работы системы составляла 0,97.

Задача 74

Система состоит из 25 равнонадежных элементов, вероятность безотказной работы каждого элемента 0,8. Сколько необходимо резервных элементов при раздельном постоянном резервировании для того, чтобы вероятность безотказной работы системы составляла 0,92.

Задача 75

Системы представлены на рис. 26-28. Интенсивности отказов элементов: $\lambda_1 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_3 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите среднее время безотказной работы для этих систем.

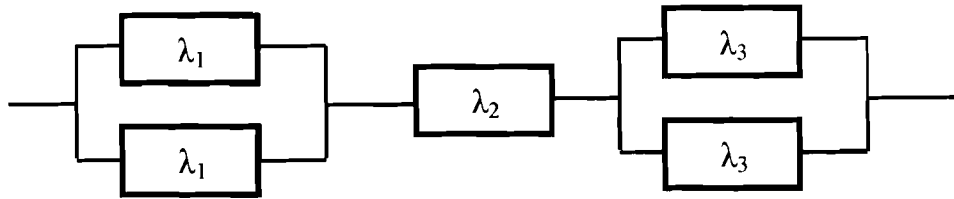


Рис. 26. Схема соединения основных и резервных элементов

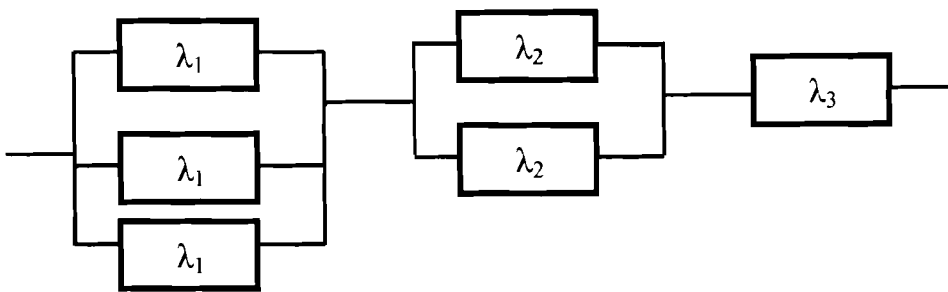


Рис. 27. Схема соединения основных и резервных элементов

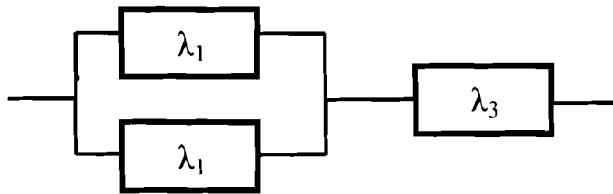


Рис. 28. Схемы соединения основных и резервных элементов

Задача 76

Имеется система, состоящая из одного рабочего и двух резервных элементов, находящихся в ненагруженном режиме. Элементы в рабочем состоянии имеют нормальные распределения времени до отказа с параметрами $T_1 = 150$ ч, $\sigma_1 = 10$ ч, $T_2 = 150$ ч, $\sigma_2 = 15$ ч, $T_3 = 100$ ч, $\sigma_3 = 20$ ч. Требуется определить вероятность безотказной работы резервированной системы в течение 300 часов вычислить среднее время безотказной работы.

Задача 77

Система состоит из 5000 элементов, средняя интенсивность отказов которых равна $0,003 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Для повышения надежности установлены две равноценные системы, постоянно включенные в работу в течение времени t . Требуется определить выигрыш надежности по среднему времени безотказной работы, вероятности безотказной работы и вероятности отказов в течение одного часа и в течение 100 часов.

Задача 78

Требуется определить зависимость выигрыша надежности от числа элементов системы, если известно время непрерывной работы t , средняя интенсивность отказов элементов $\lambda_{\text{ср}}$, кратность резервирования $m=1$, $m=2$, $m=3$ и $m=4$.

Оценить выигрыш надежности необходимо по среднему времени безотказной работы и вероятности отказов. Значения $\lambda_{\text{ср}}$ и t представлены в табл. 20. Постройте график зависимости выигрыша надежности системы по вероятности отказов от числа элементов при различных кратностях общего резервирования с постоянным включением резерва.

Таблица 20

Значения $\lambda_{\text{ср}}$ и t для разных вариантов

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{\text{ср}} * 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	0,001	0,002	0,0012	0,0015	0,003	0,0025	0,001	0,002	0,004
$t, \text{ч}$	50	100	200	300	250	150	120	140	250

Задача 79

Система состоит из N элементов, средняя интенсивность отказов которых $\lambda_{\text{ср}}$. Требуется определить вероятность безотказной работы в течение t часов непрерывной работы в случае не резервированной системы и резервированной системы (общее резервирование с постоянно включенным резервом). С кратностью m . Значения N , $\lambda_{\text{ср}}$, t и m для разных вариантов приведены в табл. 21.

Таблица 21

Значения N , $\lambda_{\text{ср}}$, t и m для разных вариантов

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	3000	4000	3500	4500	4800	5000	5200	5500	6000
$\lambda_{\text{ср}} * 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	0,001	0,0015	0,002	0,0025	0,003	0,0014	0,0016	0,004	0,001
$t, \text{час}$	800	900	1000	1200	1100	1400	1500	700	850
m	2	3	3	4	5	6	5	4	7

Задача 80

Система состоит из N элементов, средняя интенсивность отказов которых $\lambda_{\text{ср}}$. Предполагая, что справедлив экспоненциальный закон надежности, требуется установить, какой метод повышения надежности следует выбрать, чтобы вероятность безотказной работы системы в течении t часов была не ниже $P_c(t)$. Значения N , $\lambda_{\text{ср}}$, t и $P_c(t)$ для разных вариантов представлены в табл. 22.

Таблица 22

Значения N , $\lambda_{\text{ср}}$, t и $P_c(t)$ для разных вариантов

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	800	750	900	700	850	1000	1200	1100	1050
$\lambda_{\text{ср}}^* \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	0,002	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,003	0,005	0,002	0,0025
$t, \text{ч}$	800	650	500	750	850	1000	1000	900	950
$P_c(t)$	0,96	0,97	0,98	0,92	0,8	0,86	0,83	0,98	0,92

Глава 6. Номограммы, применяемые при расчетах норм надежности

Для расчета норм надежности используются номограммы.

Номограмма, определяющая зависимость вероятности безотказной работы системы за 1 час и среднего времени в зависимости от ее сложности и значения интенсивности отказов элементов (Приложение 5). Номограмма построена в соответствии, с экспоненциальным законом распределения.

Для ориентировочного расчета системы принимаются следующие допущения:

- все элементы равнонадежны;
- средняя интенсивность отказов элементов постоянна.

Номограмма имеет следующие шкалы:

- левая вертикальная – шкала среднего времени безотказной работы;
- правая вертикальная – шкала вероятности безотказной работы системы к концу первого часа работы;
- верхняя горизонтальная – шкала сложности системы, выраженной количеством элементов;
- диагональ, проведенная из левого верхнего в правый нижний угол номограммы – шкала интенсивности отказов элементов.

Номограмма позволяет (рис. 29-31):

- по заданному среднему времени безотказной работы системы и по принятому в процессе расчета количеству элементов, входящих в систему, определить интенсивность отказов, которую должны иметь элементы и вычислить величину вероятности безотказной работы в течение одного часа;

- по заданной вероятности безотказной работы системы и по принятому в процессе расчета количеству элементов, входящих в систему, определить требующуюся интенсивность отказов элементов и величину среднего времени безотказной работы системы;
- по заданной интенсивности отказов элементов определить, какие значения вероятности безотказной работы и среднего времени безотказной работы можно получить при различной сложности системы.

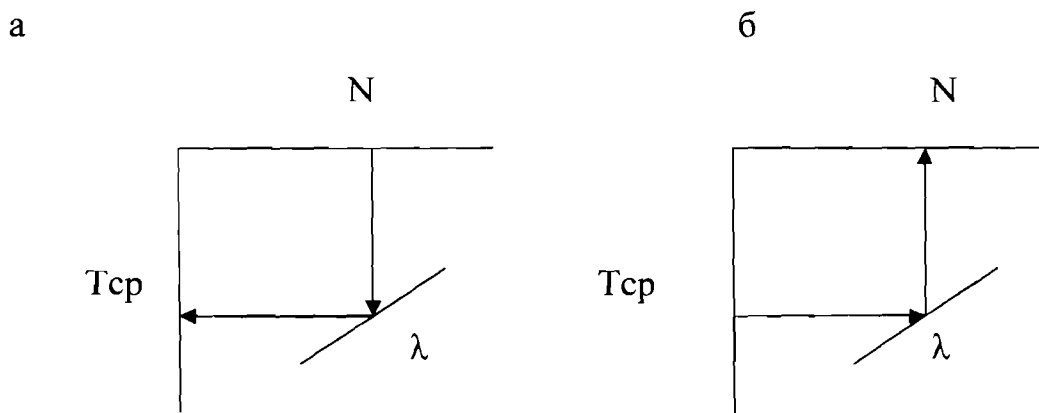


Рис. 29. Схемы решения задач по номограмме:
 а- определение $T_{сп}$ при известных N и λ ;
 б- определение N и λ при известных $T_{сп}$

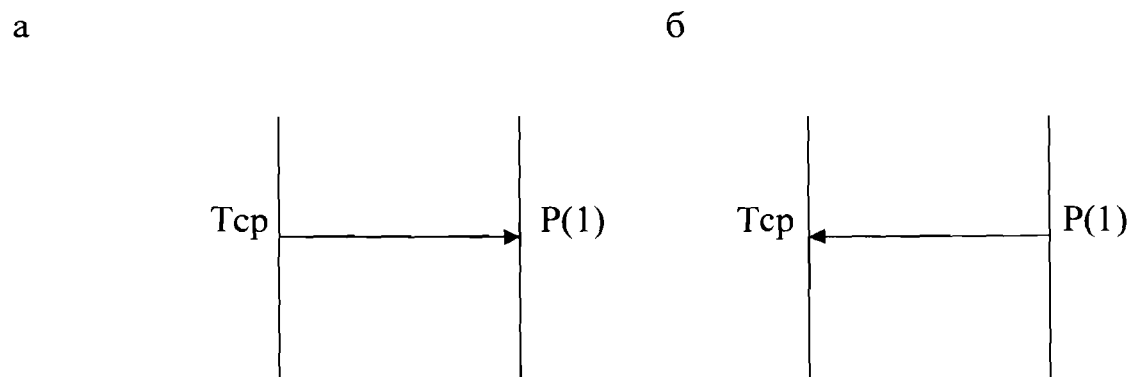


Рис. 30. Схемы решения задач по номограмме:
 а- определение $P(1)$ при известном $T_{сп}$;
 б- определение $T_{сп}$ при известном $P(1)$

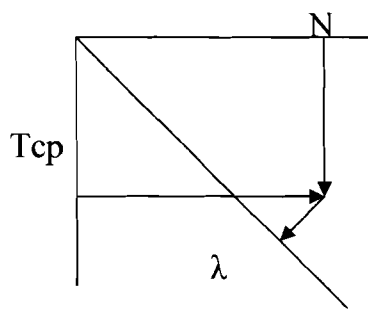


Рис. 31. Схема решения задач по номограмме: определение λ при известных T_{cp} и N .

Задача 81

Известна вероятность безотказной работы системы за 1 час $P(1)$. Определите среднее время безотказной работы системы за 1 час, используя номограмму приведенную в прилож. 5. Значения вероятности безотказной работы системы за 1 час представлены в табл. 23.

Таблица 23

Значения вероятности безотказной работы системы за 1 час

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(1), \%$	98,02	99,9	99,88	90,48	97,53	99,50	99,1	99,8	96,12

Задача 82

Известно среднее время безотказной работы системы. Определите вероятность безотказной работы системы за 1 час, используя номограмму приведенную в прилож. 5. Значения среднего времени безотказной работы системы представлены в табл. 24.

Таблица 24

Значения среднего времени безотказной работы системы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{cp}, \text{ч}$	10	15	50	120	150	200	1000	100	500

Задача 83

Определите интенсивность отказов элементов λ , если заданы T_{cp} и N используя номограмму прилож. 5. Значения среднего времени безотказной работы и количества элементов в системе в табл. 25.

Таблица 25

Значения среднего времени безотказной работы
и количества элементов в системе

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_{cp} , ч	50	100	200	300	2500	2200	3000	3500	2000
N	100	100	150	400	1000	200	1000	3000	1000

Задача 84

Требуется установить среднее время исправной работы системы T_{cp} и величину интенсивности отказов λ_i , если в системе $N = 2450$ элементов и вероятность безотказной работы системы в течение одного часа будет равна $P(1) = 97\%$.

Задача 85

Требуется установить среднее время исправной работы системы T_{cp} и величину интенсивности отказов λ_i , если в системе $N = 5000$ элементов и вероятность безотказной работы системы в течение одного часа будет равна $P(1) = 99\%$.

Задача 86

В проектируемой системе могут быть использованы лишь элементы, интенсивность отказа которых равна $\lambda_i = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Требуется определить среднее время безотказной работы T_{cp} и вероятность исправной работы в конце первого часа $P(1)$ для систем, сложность (число элементов) которых равна $N_1 = 1000$ и $N_2 = 2500$.

Задача 87

В проектируемой системе могут быть использованы лишь элементы, интенсивность отказов которых равна $\lambda_i = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Требуется определить среднее время безотказной работы $T_{\text{ср}}$ и вероятность исправной работы в конце первого часа $P(1)$ для систем, сложность которых равна $N_1 = 1500$ и $N_2 = 2500$.

Номограмма, определяющая зависимость вероятности безотказной работы составной части системы от вероятности безотказной работы системы в целом и доли сложности его составной части, построена по формуле экспоненциального закона надежности (Приложение 5).

Номограмма имеет следующие шкалы:

- левая вертикальная – шкала вероятности безотказной работы составной части изделия;
- правая вертикальная – шкала вероятности безотказной работы системы;
- нижняя горизонтальная - шкала доли сложности составной части системы (отношение числа элементов части системы к числу элементов в системе).

Номограмма позволяет:

- по заданной вероятности безотказной работы системы и относительной доле сложности составной части системы, определить вероятность безотказной работы составной части системы (рис. 32);

- по заданным величинам вероятности безотказной работы системы, вероятности безотказной работы составной части системы и сложности системы определить сложность составной части системы.

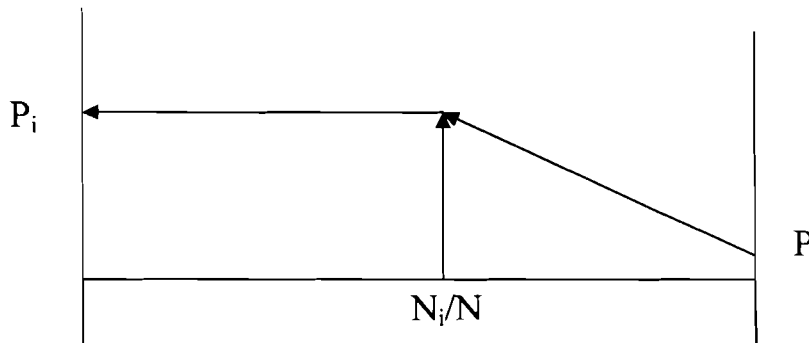


Рис. 32. Схема решения задач по номограмме

Задача 88

Определите вероятность безотказной работы составной части системы, если предположить, что действует экспоненциальный закон надежности, используя номограмму из прилож. 5., если известны вероятность безотказной работы системы и доля сложности составной части системы. Значения вероятности безотказной работы системы и доля сложности составной части системы представлены в табл. 26.

Таблица 26

Значения вероятности безотказной работы системы
и доля сложности составной части системы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	0,81	0,82	0,88	0,89	0,9	0,93	0,94	0,97	0,86
N/N _i	0,6	0,5	0,7	0,3	0,2	0,8	0,9	0,4	0,5

Раздел 2. ЗАДАЧИ ПО ДИАГНОСТИКЕ СИСТЕМ

Задача 89

Пусть система состоит из семи элементов, для каждого из которых известны значения условной вероятности того, что отказал i -й элемент при условии, что в системе произошел отказ только одного элемента табл. 27.

Таблица 27

Значения условных вероятностей того, что отказал i -й элемент при условии, что в системе произошел отказ только одного элемента

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_1^*	0,3	0,2	0,3	0,25	0,1	0,2	0,2	0,02	0,04
q_2^*	0,3	0,4	0,25	0,03	0,3	0,35	0,4	0,08	0,06
q_3^*	0,1	0,05	0,25	0,07	0,1	0,15	0,1	0,01	0,08
q_4^*	0,1	0,05	0,05	0,05	0,3	0,09	0,04	0,09	0,02
q_5^*	0,1	0,05	0,05	0,02	0,05	0,01	0,06	0,3	0,2
q_6^*	0,05	0,05	0,04	0,08	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2
q_7^*	0,05	0,2	0,06	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4

Требуется найти систему контрольных проверок, позволяющих в кратчайшее время отыскать неисправный элемент.

Решение (вариант 1):

Необходимо составить диаграмму процесса оптимальных проверок (рис. 33)

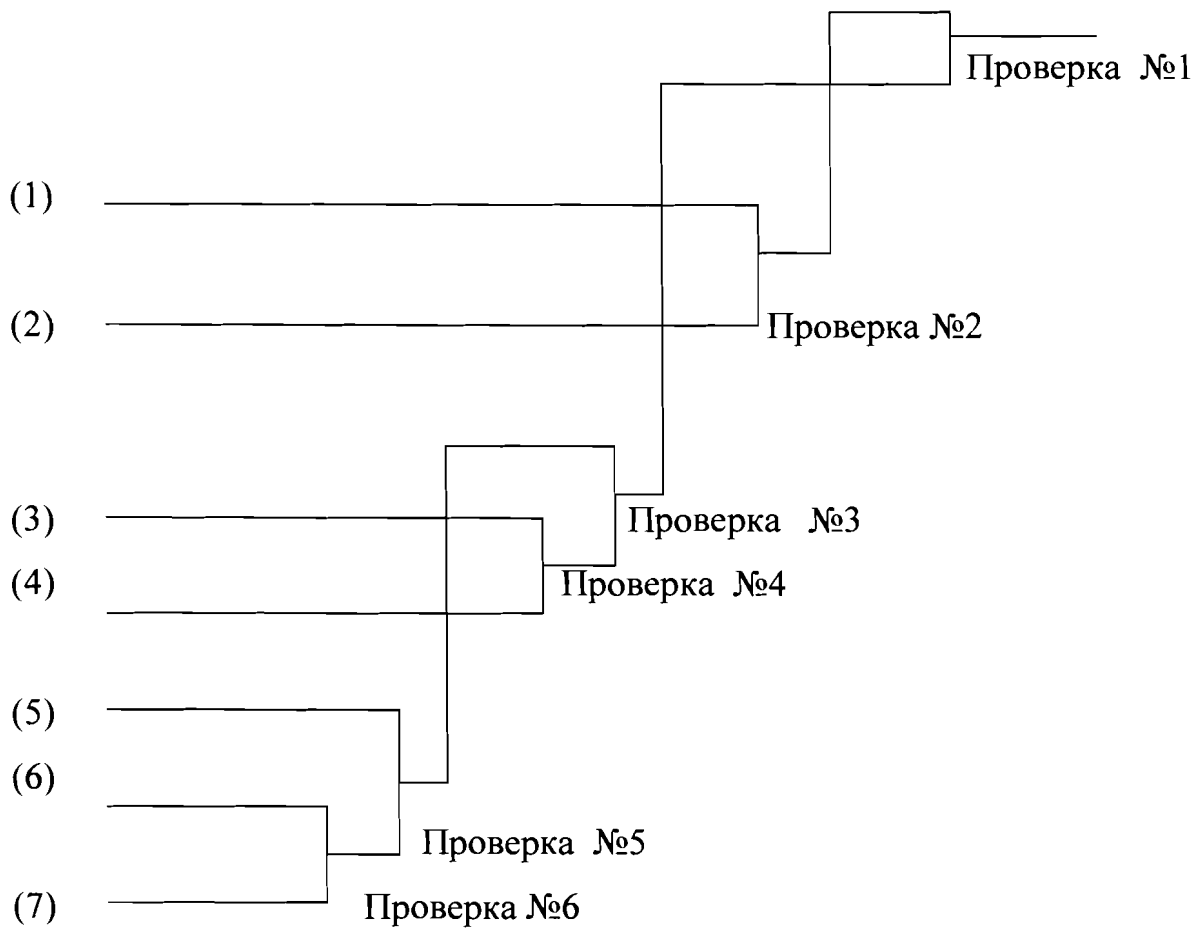


Рис. 33. Диаграмма процесса оптимальных проверок

Из диаграммы рис. 33. видно, что первая проверка должна позволить разделить всю совокупность элементов на две 1-й и 2-й, с одной стороны, и с 3-го по 7-й, с другой стороны. Если неисправным является 1-й или 2-й элемент, то необходимо применить вторую проверку. Если же неисправным является один из элементов с 3-го по 7-й, то следующая проверка №3 должна позволить отделить 3-й и 4-й элементы от 5-го, 6-го и 7-го и т.д.

Задача 90

Имеется та же система, что и в предыдущей задаче. Однако можно провести лишь следующие проверки:

Проверка №1 – отделение элементов 1, 5 от элементов 2, 3, 4, 6, 7;

Проверка №2 – отделение элементов 1, 2, 4 от элементов 3, 5, 6, 7;

Проверка №3 – отделение элементов 6, 7 от элементов 1, 2, 3, 4;

Проверка №4 – отделение элементов 2, 7 от элементов 1, 3, 4, 5, 6;

Проверка №1 – отделение элементов 2, 3, 5 от элементов 1, 4, 6, 7.

Время, затраченное на проведение проверок приведено в табл. 28.

Таблица 28

Значение времени затраченного на проведение проверок

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T ₁ , мин.	3	2	1	4	5	1	5	1,5	1
T ₂ , мин.	1,5	1,5	3	4	1	2	6	2,5	2
T ₃ , мин.	1	2	2	5	1	3	4	3	6
T ₄ , мин.	2	1	2	2	6	4	3	5	5
T ₅ , мин.	3	5	1,5	1	2	5	2	2	3

Требуется определить систему оптимальных проверок.

Решение (вариант 1):

Для решения этой задачи применяется «информационный» метод, который является приближенным. Поскольку приближенный метод предлагается использовать в тех случаях, когда различные проверки имеют различную длительность.

Для оптимального отыскания единственного неисправного элемента предлагается следующий алгоритм.

Рассматривается исходная совокупность из 7 элементов входящих в состав системы. Для каждой возможной i -й проверки, которая охватывает некоторую совокупность из всех элементов устройства, составляется величина, для первого процесса поиска неисправного элемента:

$$g_1^{(1)} = - [P_1 \lg P_1 + Q_1 \lg Q_1] / T_1 = (0,4 * 0,398 + 0,6 * 0,222) / 3 = 0,098;$$

$$g_2^{(1)} = (0,7 * 0,155 + 0,3 * 0,523) = 0,177;$$

$$g_3^{(1)} = (0,1 * 1 + 0,9 * 0,056) / 1 = 0,150;$$

$$g_4^{(1)} = (0,35 * 0,456 + 0,65 * 0,187) / 2 = 0,142;$$

$$g_5^{(1)} = (0,5 * 0,301 + 0,5 * 0,301) / 3 = 0,1.$$

Выбираем в качестве первой проверки Проверку №2. Пусть неисправный элемент оказался среди группы элементов 1, 2 и 4.

В этом случае Проверка №1 позволяет отделить элемент 1 от элементов 2, 4.

Проверка №3 не позволяет произвести дальнейшей локализации отказавшего элемента.

Проверка №4 и Проверка №5 отделяют элемент 2 от элементов 1, 4.

Итак, предварительно вычислим значения q_1^* , q_2^* и q_4^* при условии, что отказавший элемент находится среди этих элементов:

$$q_1^* = \frac{0,3}{0,3+0,3+0,1} = \frac{3}{7} = 0,43 ,$$

$$q_2^* = \frac{0,3}{0,3+0,3+0,1} = \frac{3}{7} = 0,43 ,$$

$$q_4^* = \frac{0,1}{0,3+0,3+0,1} = \frac{1}{7} = 0,14 .$$

В этом случае:

$$g_1^{(1)} = \frac{1}{3} (0,43*0,366 + 0,57*0,244) = 0,099,$$

$$g_2^{(1)} = 0,$$

$$g_3^{(1)} = 0,$$

$$g_4^{(1)} = \frac{1}{2} (0,43*0,366 + 0,57*0,244) = 0,148,$$

$$g_5^{(1)} = \frac{1}{5} (0,43*0,366 + 0,57*0,244) = 0,099 .$$

Видно, что в качестве проверки на втором шаге процесса поиска неисправного элемента следует применить Проверку 4.

Если исправным элементом оказывается элемент 2, то на этом процедура заканчивается. Если же неисправным элементом является либо элемент 1, либо элемент 4, процесс продолжается, причем, как нетрудно заметить, в качестве проверки на третьем шаге остается возможность использовать лишь Проверку 1.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значения показателей функции e^{-x} и e^x

x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x
0	1	1	0,34	0,7118	1,4049	0,68	0,5066	1,9739
0,01	0,9900	1,0101	0,35	0,7047	1,4191	0,69	0,5016	1,9937
0,02	0,9802	1,0202	0,36	0,6977	1,4333	0,7	0,4966	2,0138
0,03	0,9704	1,0305	0,37	0,6907	1,4477	0,71	0,4916	2,0340
0,04	0,9608	1,0408	0,38	0,6839	1,4623	0,72	0,4868	2,0544
0,05	0,9512	1,0513	0,39	0,6771	1,4770	0,73	0,4819	2,0751
0,06	0,9418	1,0618	0,4	0,6703	1,4918	0,74	0,4771	2,0959
0,07	0,9324	1,0725	0,41	0,6637	1,5068	0,75	0,4724	2,1170
0,08	0,9231	1,0833	0,42	0,6570	1,5220	0,76	0,4677	2,1383
0,09	0,9139	1,0942	0,43	0,6505	1,5373	0,77	0,4630	2,1598
0,1	0,9048	1,1052	0,44	0,6440	1,5527	0,78	0,4584	2,1815
0,11	0,8958	1,1163	0,45	0,6376	1,5683	0,79	0,4538	2,2034
0,12	0,8869	1,1275	0,46	0,6313	1,5841	0,8	0,4493	2,2255
0,13	0,8781	1,1388	0,47	0,6250	1,6000	0,81	0,4449	2,2479
0,14	0,8694	1,1503	0,48	0,6188	1,6161	0,82	0,4404	2,2705
0,15	0,8607	1,1618	0,49	0,6126	1,6323	0,83	0,4360	2,2933
0,16	0,8521	1,1735	0,5	0,6065	1,6487	0,84	0,4317	2,3164
0,17	0,8437	1,1853	0,51	0,6005	1,6653	0,85	0,4274	2,3396
0,18	0,8353	1,1972	0,52	0,5945	1,6820	0,86	0,4232	2,3632
0,19	0,8270	1,2092	0,53	0,5886	1,6989	0,87	0,4190	2,3869
0,2	0,8187	1,2214	0,54	0,5827	1,7160	0,88	0,4148	2,4109
0,21	0,8106	1,2337	0,55	0,5769	1,7333	0,89	0,4107	2,4351
0,22	0,8025	1,2461	0,56	0,5712	1,7507	0,9	0,4066	2,4596
0,23	0,7945	1,2586	0,57	0,5655	1,7683	0,91	0,4025	2,4843
0,24	0,7866	1,2712	0,58	0,5599	1,7860	0,92	0,3985	2,5093
0,25	0,7788	1,2840	0,59	0,5543	1,8040	0,93	0,3946	2,5345
0,26	0,7711	1,2969	0,6	0,5488	1,8221	0,94	0,3906	2,5600
0,27	0,7634	1,3100	0,61	0,5434	1,8404	0,95	0,3867	2,5857
0,28	0,7558	1,3231	0,62	0,5379	1,8589	0,96	0,3829	2,6117
0,29	0,7483	1,3364	0,63	0,5326	1,8776	0,97	0,3791	2,6379
0,3	0,7408	1,3499	0,64	0,5273	1,8965	0,98	0,3753	2,6645
0,31	0,7334	1,3634	0,65	0,5220	1,9155	0,99	0,3716	2,6912
0,32	0,7261	1,3771	0,66	0,5169	1,9348	1	0,3679	2,7183
0,33	0,7189	1,3910	0,67	0,5117	1,9542	1,01	0,3642	2,7456

Продолжение Приложения 1

x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x
1,02	0,3606	2,7732	1,36	0,2567	1,2926	1,7	0,1827	5,4739
1,03	0,3570	2,8011	1,37	0,2541	1,2893	1,71	0,1809	5,5290
1,04	0,3535	2,8292	1,38	0,2516	1,2861	1,72	0,1791	5,5845
1,05	0,3499	2,8577	1,39	0,2491	1,2828	1,73	0,1773	5,6407
1,06	0,3465	2,8864	1,4	0,2466	1,2797	1,74	0,1755	5,6973
1,07	0,3430	2,9154	1,41	0,2441	1,2765	1,75	0,1738	5,7546
1,08	0,3396	2,9447	1,42	0,2417	1,2734	1,76	0,1720	5,8124
1,09	0,3362	2,9743	1,43	0,2393	1,2704	1,77	0,1703	5,8709
1,1	0,3329	3,0042	1,44	0,2369	1,2673	1,78	0,1686	5,9299
1,11	0,3296	3,0344	1,45	0,2346	1,2644	1,79	0,1670	5,9895
1,12	0,3263	3,0649	1,46	0,2322	1,2614	1,8	0,1653	6,0496
1,13	0,3230	3,0957	1,47	0,2299	1,2585	1,81	0,1637	6,1104
1,14	0,3198	3,1268	1,48	0,2276	1,2556	1,82	0,1620	6,1719
1,15	0,3166	3,1582	1,49	0,2254	1,2528	1,83	0,1604	6,2339
1,16	0,3135	3,1899	1,5	0,2231	1,2500	1,84	0,1588	6,2965
1,17	0,3104	3,2220	1,51	0,2209	1,2472	1,85	0,1572	6,3598
1,18	0,3073	3,2544	1,52	0,2187	1,2445	1,86	0,1557	6,4237
1,19	0,3042	3,2871	1,53	0,2165	1,2418	1,87	0,1541	6,4883
1,2	0,3012	3,3201	1,54	0,2144	1,2391	1,88	0,1526	6,5535
1,21	0,2982	3,3535	1,55	0,2122	1,2365	1,89	0,1511	6,6194
1,22	0,2952	3,3872	1,56	0,2101	1,2338	1,9	0,1496	6,6859
1,23	0,2923	3,4212	1,57	0,2080	1,2313	1,91	0,1481	6,7531
1,24	0,2894	3,4556	1,58	0,2060	1,2287	1,92	0,1466	6,8210
1,25	0,2865	3,4903	1,59	0,2039	1,2262	1,93	0,1451	6,8895
1,26	0,2837	3,5254	1,6	0,2019	1,2237	1,94	0,1437	6,9588
1,27	0,2808	3,5609	1,61	0,1999	1,2213	1,95	0,1423	7,0287
1,28	0,2780	3,5966	1,62	0,1979	1,2188	1,96	0,1409	7,0993
1,29	0,2753	3,6328	1,63	0,1959	1,2164	1,97	0,1395	7,1707
1,3	0,2725	3,6693	1,64	0,1940	1,2141	1,98	0,1381	7,2427
1,31	0,2698	3,7062	1,65	0,1920	1,2117	1,99	0,1367	7,3155
1,32	0,2671	3,7434	1,66	0,1901	1,2094	2	0,1353	7,3891
1,33	0,2645	3,7810	1,67	0,1882	1,2071	2,01	0,1340	7,4633
1,34	0,2618	3,8190	1,68	0,1864	1,2049	2,02	0,1327	7,5383
1,35	0,2592	3,8574	1,69	0,1845	1,2026	2,03	0,1313	7,6141

Продолжение Приложения 1

x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x
2,04	0,1300	7,6906	2,38	0,0926	10,8049	2,72	0,0659	15,1803
2,05	0,1287	7,7679	2,39	0,0916	10,9135	2,73	0,0652	15,3329
2,06	0,1275	7,8460	2,4	0,0907	11,0232	2,74	0,0646	15,4870
2,07	0,1262	7,9248	2,41	0,0898	11,1340	2,75	0,0639	15,6426
2,08	0,1249	8,0045	2,42	0,0889	11,2459	2,76	0,0633	15,7998
2,09	0,1237	8,0849	2,43	0,0880	11,3589	2,77	0,0627	15,9586
2,1	0,1225	8,1662	2,44	0,0872	11,4730	2,78	0,0620	16,1190
2,11	0,1212	8,2482	2,45	0,0863	11,5883	2,79	0,0614	16,2810
2,12	0,1200	8,3311	2,46	0,0854	11,7048	2,8	0,0608	16,4446
2,13	0,1188	8,4149	2,47	0,0846	11,8224	2,81	0,0602	16,6099
2,14	0,1177	8,4994	2,48	0,0837	11,9413	2,82	0,0596	16,7769
2,15	0,1165	8,5849	2,49	0,0829	12,0613	2,83	0,0590	16,9455
2,16	0,1153	8,6711	2,5	0,0821	12,1825	2,84	0,0584	17,1158
2,17	0,1142	8,7583	2,51	0,0813	12,3049	2,85	0,0578	17,2878
2,18	0,1130	8,8463	2,52	0,0805	12,4286	2,86	0,0573	17,4615
2,19	0,1119	8,9352	2,53	0,0797	12,5535	2,87	0,0567	17,6370
2,2	0,1108	9,0250	2,54	0,0789	12,6797	2,88	0,0561	17,8143
2,21	0,1097	9,1157	2,55	0,0781	12,8071	2,89	0,0556	17,9933
2,22	0,1086	9,2073	2,56	0,0773	12,9358	2,9	0,0550	18,1741
2,23	0,1075	9,2999	2,57	0,0765	13,0658	2,91	0,0545	18,3568
2,24	0,1065	9,3933	2,58	0,0758	13,1971	2,92	0,0539	18,5413
2,25	0,1054	9,4877	2,59	0,0750	13,3298	2,93	0,0534	18,7276
2,26	0,1044	9,5831	2,6	0,0743	13,4637	2,94	0,0529	18,9158
2,27	0,1033	9,6794	2,61	0,0735	13,5991	2,95	0,0523	19,1060
2,28	0,1023	9,7767	2,62	0,0728	13,7357	2,96	0,0518	19,2980
2,29	0,1013	9,8749	2,63	0,0721	13,8738	2,97	0,0513	19,4919
2,3	0,1003	9,9742	2,64	0,0714	14,0132	2,98	0,0508	19,6878
2,31	0,0993	10,0744	2,65	0,0707	14,1540	2,99	0,0503	19,8857
2,32	0,0983	10,1757	2,66	0,0699	14,2963	3	0,0498	20,0855
2,33	0,0973	10,2779	2,67	0,0693	14,4400	3,01	0,0493	20,2874
2,34	0,0963	10,3812	2,68	0,0686	14,5851	3,02	0,0488	20,4913
2,35	0,0954	10,4856	2,69	0,0679	14,7317	3,03	0,0483	20,6972
2,36	0,0944	10,5910	2,7	0,0672	14,8797	3,04	0,0478	20,9052
2,37	0,0935	10,6974	2,71	0,0665	15,0293	3,05	0,0474	21,1153

Продолжение Приложения 1

x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x
3,06	0,0469	21,3276	3,4	0,0334	29,9641	3,74	0,0238	42,0980
3,07	0,0464	21,5419	3,41	0,0330	30,2652	3,75	0,0235	42,5211
3,08	0,0460	21,7584	3,42	0,0327	30,5694	3,76	0,0233	42,9484
3,09	0,0455	21,9771	3,43	0,0324	30,8766	3,77	0,0231	43,3801
3,1	0,0450	22,1980	3,44	0,0321	31,1870	3,78	0,0228	43,8160
3,11	0,0446	22,4210	3,45	0,0317	31,5004	3,79	0,0226	44,2564
3,12	0,0442	22,6464	3,46	0,0314	31,8170	3,8	0,0224	44,7012
3,13	0,0437	22,8740	3,47	0,0311	32,1367	3,81	0,0221	45,1504
3,14	0,0433	23,1039	3,48	0,0308	32,4597	3,82	0,0219	45,6042
3,15	0,0429	23,3361	3,49	0,0305	32,7859	3,83	0,0217	46,0625
3,16	0,0424	23,5706	3,5	0,0302	33,1155	3,84	0,0215	46,5255
3,17	0,0420	23,8075	3,51	0,0299	33,4483	3,85	0,0213	46,9931
3,18	0,0416	24,0468	3,52	0,0296	33,7844	3,86	0,0211	47,4654
3,19	0,0412	24,2884	3,53	0,0293	34,1240	3,87	0,0209	47,9424
3,2	0,0408	24,5325	3,54	0,0290	34,4669	3,88	0,0207	48,4242
3,21	0,0404	24,7791	3,55	0,0287	34,8133	3,89	0,0204	48,9109
3,22	0,0400	25,0281	3,56	0,0284	35,1632	3,9	0,0202	49,4024
3,23	0,0396	25,2797	3,57	0,0282	35,5166	3,91	0,0200	49,8990
3,24	0,0392	25,5337	3,58	0,0279	35,8735	3,92	0,0198	50,4004
3,25	0,0388	25,7903	3,59	0,0276	36,2341	3,93	0,0196	50,9070
3,26	0,0384	26,0495	3,6	0,0273	36,5982	3,94	0,0194	51,4186
3,27	0,0380	26,3113	3,61	0,0271	36,9661	3,95	0,0193	51,9354
3,28	0,0376	26,5758	3,62	0,0268	37,3376	3,96	0,0191	52,4573
3,29	0,0373	26,8429	3,63	0,0265	37,7128	3,97	0,0189	52,9845
3,3	0,0369	27,1126	3,64	0,0263	38,0918	3,98	0,0187	53,5170
3,31	0,0365	27,3851	3,65	0,0260	38,4747	3,99	0,0185	54,0549
3,32	0,0362	27,6604	3,66	0,0257	38,8613	4	0,0183	54,5982
3,33	0,0358	27,9383	3,67	0,0255	39,2519	4,01	0,0181	55,1469
3,34	0,0354	28,2191	3,68	0,0252	39,6464	4,02	0,0180	55,7011
3,35	0,0351	28,5027	3,69	0,0250	40,0448	4,03	0,0178	56,2609
3,36	0,0347	28,7892	3,7	0,0247	40,4473	4,04	0,0176	56,8263
3,37	0,0344	29,0785	3,71	0,0245	40,8538	4,05	0,0174	57,3975
3,38	0,0340	29,3708	3,72	0,0242	41,2644	4,06	0,0172	57,9743
3,39	0,0337	29,6660	3,73	0,0240	41,6791	4,07	0,0171	58,5570

Окончание Приложения 1

x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x	x	e^{-x}	e^x
4,08	0,0169	59,1455	4,42	0,0120	83,0963	4,76	0,0086	116,7459
4,09	0,0167	59,7399	4,43	0,0119	83,9314	4,77	0,0085	117,9192
4,1	0,0166	60,3403	4,44	0,0118	84,7749	4,78	0,0084	119,1044
4,11	0,0164	60,9467	4,45	0,0117	85,6269	4,79	0,0083	120,3014
4,12	0,0162	61,5592	4,46	0,0116	86,4875	4,8	0,0082	121,5104
4,13	0,0161	62,1779	4,47	0,0114	87,3567	4,81	0,0081	122,7316
4,14	0,0159	62,8028	4,48	0,0113	88,2347	4,82	0,0081	123,9651
4,15	0,0158	63,4340	4,49	0,0112	89,1214	4,83	0,0080	125,211
4,16	0,0156	64,0715	4,5	0,0111	90,0171	4,84	0,0079	126,4694
4,17	0,0155	64,7155	4,51	0,0110	90,9218	4,85	0,0078	127,7404
4,18	0,0153	65,3659	4,52	0,0109	91,8356	4,86	0,0078	129,0242
4,19	0,0151	66,0228	4,53	0,0108	92,7586	4,87	0,0077	130,3209
4,2	0,0150	66,6863	4,54	0,0107	93,6908	4,88	0,0076	131,6307
4,21	0,0148	67,3565	4,55	0,0106	94,6324	4,89	0,0075	132,9536
4,22	0,0147	68,0335	4,56	0,0105	95,5835	4,9	0,0074	134,2898
4,23	0,0146	68,7172	4,57	0,0104	96,5441	4,91	0,0074	135,6394
4,24	0,0144	69,4079	4,58	0,0103	97,5144	4,92	0,0073	137,0026
4,25	0,0143	70,1054	4,59	0,0102	98,4944	4,93	0,0072	138,3795
4,26	0,0141	70,8100	4,6	0,0101	99,4843	4,94	0,0072	139,7702
4,27	0,0140	71,5216	4,61	0,0100	100,4841	4,95	0,0071	141,175
4,28	0,0138	72,2404	4,62	0,0099	101,4940	4,96	0,0070	142,5938
4,29	0,0137	72,9665	4,63	0,0098	102,5141	4,97	0,0069	144,0269
4,3	0,0136	73,6998	4,64	0,0097	103,5443	4,98	0,0069	145,4744
4,31	0,0134	74,4405	4,65	0,0096	104,5850	4,99	0,0068	146,9364
4,32	0,0133	75,1886	4,66	0,0095	105,6361	5	0,0067	148,4132
4,33	0,0132	75,9443	4,67	0,0094	106,6977	5,01	0,0067	149,9047
4,34	0,0130	76,7075	4,68	0,0093	107,7701	5,02	0,0066	151,4113
4,35	0,0129	77,4785	4,69	0,0092	108,8532	5,03	0,0065	152,933
4,36	0,0128	78,2571	4,7	0,0091	109,9472	5,04	0,0065	154,47
4,37	0,0127	79,0436	4,71	0,0090	111,0522	5,05	0,0064	156,0225
4,38	0,0125	79,8380	4,72	0,0089	112,1683	5,06	0,0063	157,5905
4,39	0,0124	80,6404	4,73	0,0088	113,2956	5,07	0,0063	159,1743
4,4	0,0123	81,4509	4,74	0,0087	114,4342	5,08	0,0062	160,7741
4,41	0,0122	82,2695	4,75	0,0087	115,5843	5,09	0,0062	162,3899

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Произведения вероятностей безотказной работы системы

P(t)	P ² (t)	P ³ (t)	P(t)	P ² (t)	P ³ (t)	P(t)	P ² (t)	P ³ (t)
0,99	0,98	0,97	0,64	0,41	0,26	0,29	0,084	0,024
0,98	0,96	0,94	0,63	0,40	0,25	0,28	0,078	0,022
0,97	0,94	0,91	0,62	0,38	0,24	0,27	0,073	0,020
0,96	0,92	0,88	0,61	0,37	0,23	0,26	0,068	0,018
0,95	0,90	0,86	0,6	0,36	0,22	0,25	0,063	0,016
0,94	0,88	0,83	0,59	0,35	0,21	0,24	0,058	0,014
0,93	0,86	0,80	0,58	0,34	0,20	0,23	0,053	0,012
0,92	0,85	0,78	0,57	0,32	0,19	0,22	0,048	0,011
0,91	0,83	0,75	0,56	0,31	0,18	0,21	0,044	0,009
0,9	0,81	0,73	0,55	0,30	0,17	0,2	0,040	0,008
0,89	0,79	0,70	0,54	0,29	0,16	0,19	0,036	0,007
0,88	0,77	0,68	0,53	0,28	0,15	0,18	0,032	0,006
0,87	0,76	0,66	0,52	0,27	0,14	0,17	0,029	0,005
0,86	0,74	0,64	0,51	0,26	0,13	0,16	0,026	0,004
0,85	0,72	0,61	0,5	0,25	0,13	0,15	0,023	0,003
0,84	0,71	0,59	0,49	0,24	0,12			
0,83	0,69	0,57	0,48	0,23	0,11			
0,82	0,67	0,55	0,47	0,22	0,10			
0,81	0,66	0,53	0,46	0,21	0,10			
0,8	0,64	0,51	0,45	0,20	0,09			
0,79	0,62	0,49	0,44	0,19	0,09			
0,78	0,61	0,47	0,43	0,18	0,08			
0,77	0,59	0,46	0,42	0,18	0,07			
0,76	0,58	0,44	0,41	0,17	0,07			
0,75	0,56	0,42	0,4	0,16	0,06			
0,74	0,55	0,41	0,39	0,15	0,06			
0,73	0,53	0,39	0,38	0,14	0,05			
0,72	0,52	0,37	0,37	0,14	0,05			
0,71	0,50	0,36	0,36	0,13	0,05			
0,7	0,49	0,34	0,35	0,12	0,04			
0,69	0,48	0,33	0,34	0,12	0,04			
0,68	0,46	0,31	0,33	0,11	0,04			
0,67	0,45	0,30	0,32	0,10	0,03			
0,66	0,44	0,29	0,31	0,10	0,03			
0,65	0,42	0,27	0,3	0,09	0,03			

Закон распределения Пуассона $P_r(a) = (a^r/r!)e^{-a}$

r \ a	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0	0,904837	0,818731	0,740818	0,670320	0,606531	0,548812
1	0,090484	0,163746	0,222245	0,268128	0,303265	0,329287
2	0,004524	0,016375	0,033337	0,053626	0,075816	0,098786
3	0,000151	0,001092	0,003334	0,007150	0,012636	0,019757
4	0,000004	0,000055	0,00025	0,000715	0,001580	0,002964
5		0,000002	0,000015	0,000057	0,000158	0,000356
6			0,000001	0,000004	0,000013	0,000036
7					0,000001	0,000003
r \ a	0,7	0,8	0,9	1,0	2	3
0	0,496585	0,449329	0,406570	0,367879	0,135335	0,497787
1	0,347610	0,359463	0,365913	0,367879	0,270674	0,149361
2	0,121663	0,143785	0,164661	0,183940	0,270671	0,224042
3	0,028388	0,038343	0,049398	0,061313	0,180447	0,224042
4	0,004968	0,007669	0,011115	0,015328	0,090224	0,168031
5	0,000081	0,001227	0,002001	0,003066	0,036089	0,100819
6	0,000008	0,000164	0,0003	0,000511	0,012030	0,050409
7	0,000001	0,000019	0,000039	0,000073	0,003437	0,021604
8		0,000002	0,000004	0,000009	0,000899	0,008102
9				0,000001	0,000191	0,002701
10					0,000038	0,000810
11					0,000007	0,000221
12					0,000001	0,000055
13						0,000013
14						0,000003
15						0,000001

Окончание Приложения 3

r \ a	4	5	6	7
0	0,018316	0,006738	0,002479	0,000912
1	0,073263	0,033690	0,014873	0,006383
2	0,141525	0,084224	0,044618	0,022341
3	0,195367	0,140374	0,089235	0,052129
4	0,195367	0,175467	0,133853	0,091226
5	0,156293	0,175467	0,16062	0,127717
6	0,104194	0,146223	0,160623	0,149
7	0,059540	0,104445	0,137677	0,149030
8	0,029770	0,064278	0,193258	0,130377
9	0,013231	0,036266	0,068838	0,101405
10	0,005292	0,018133	0,041303	0,070983
11	0,001925	0,008242	0,022529	0,045171
12	0,000642	0,003434	0,011262	0,026350
13	0,000197	0,001321	0,005199	0,014188
14	0,000056	0,000472	0,002228	0,007094
15	0,000015	0,000157	0,000891	0,003311
16	0,00004	0,000049	0,000334	0,001448
17	0,000001	0,000014	0,000118	0,000596
18		0,000004	0,000039	0,000232
19		0,000001	0,000012	0,000085
20			0,000004	0,00003
21			0,000001	0,00001
22				0,000003
23				0,000001

Экспоненциальный закон надежности $P(t) = e^{-(t/T_{cp})}$

t \ P(t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	T _{cp}										
0,999	995	1990	2985	3980	4975	5970	6965	7960	8955	9950	14920
0,997	335	665	1000	1330	1665	2000	2330	2665	3000	3330	4990
0,995	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	3000
0,993	145	285	430	570	715	855	1000	1140	1280	1425	2135
0,99	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1495
0,98	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	750
0,97	33	66	99	132	164	198	230	263	296	328	493
0,96	25	50	74	98	123	147	172	196	221	245	368
0,95	20	39	59	78	98	117	137	156	176	195	293
0,94	16,2	32,5	48,5	65	81	97	113	130	146	162	242,5
0,93	14	28	41,5	55	69	83	96,5	111	124	138	207
0,92	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	180
0,91	10,5	21	32	42,5	53	57	74,5	85	95,5	106	159
0,9	9,5	19	28,5	38	47,5	54	66,5	76	85,5	95	142,5
0,85	6,2	12,5	18,5	24,6	30,8	37	43	4,5	55,5	61,5	92,5
0,8	4,5	9	13,5	18	22,5	27	31,5	36	40,5	45	67,5
0,75	3,5	7	10,5	14	17,5	21	24,5	28	31,5	35	52,5
0,7	2,8	5,6	8,4	11,2	14	16,8	19,6	22,4	25,2	28	42
0,65	2,3	4,6	7	9,3	11,6	13,8	16,3	18,6	20,9	23,2	34,8
0,6	1,96	3,9	5,9	7,8	9,8	11,8	13,7	15,7	17,7	19,6	29,4
0,55	1,67	3,34	5	6,7	8,35	10	11,7	13,4	15	16,7	25
0,5	1,44	2,88	4,3	5,76	7,2	8,64	10,8	11,5	13	14,4	21,6
0,45	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	10	11,3	12,5	18,75
0,4	1,09	2,18	3,27	4,36	5,45	6,54	7,63	8,72	9,81	10,9	16,35
0,37	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15

Номограммы

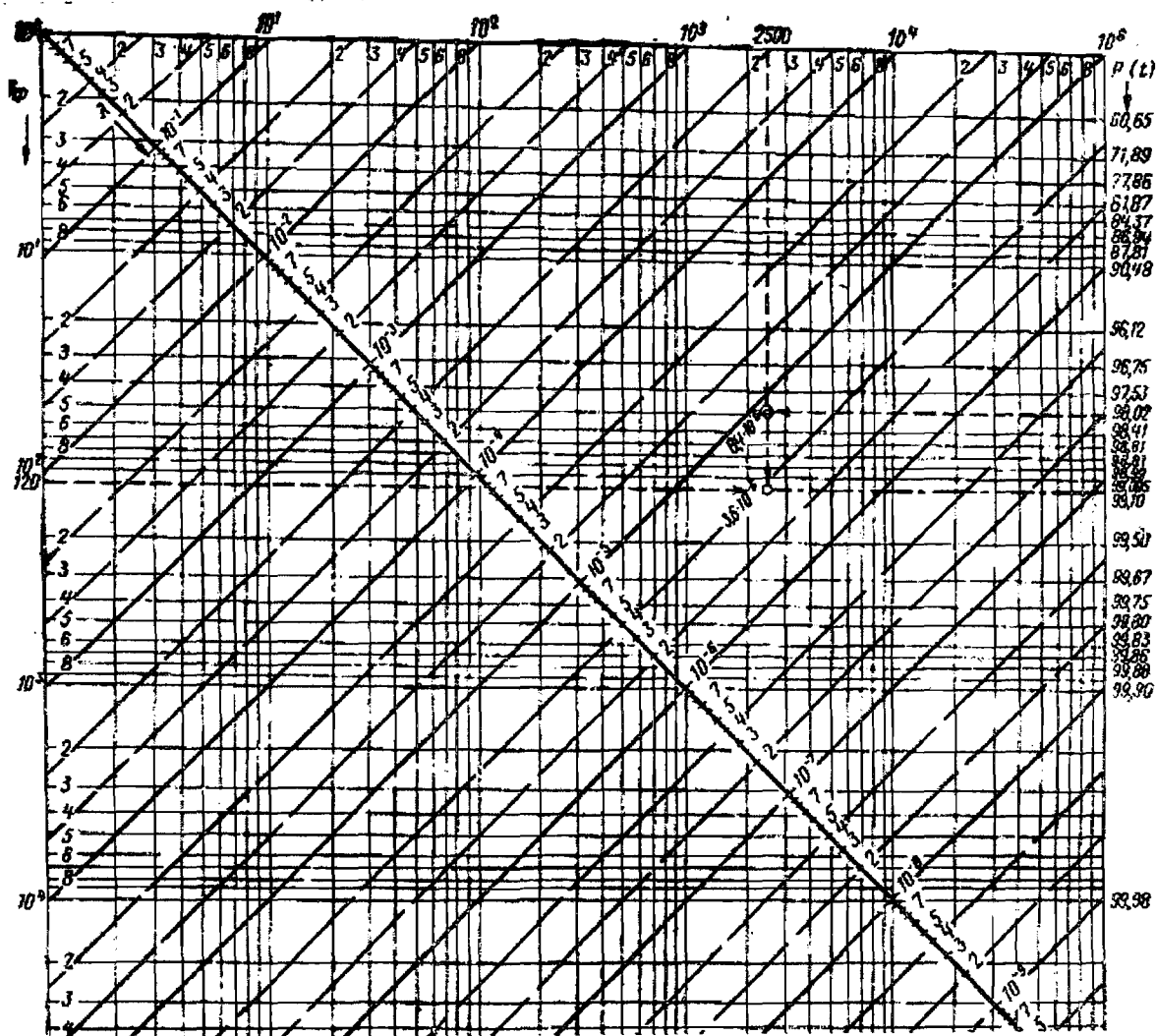


Рис. 1. Номограмма, определяющая зависимость вероятности и среднего времени исправной работы в функции от сложности системы и величины интенсивности отказов элементов

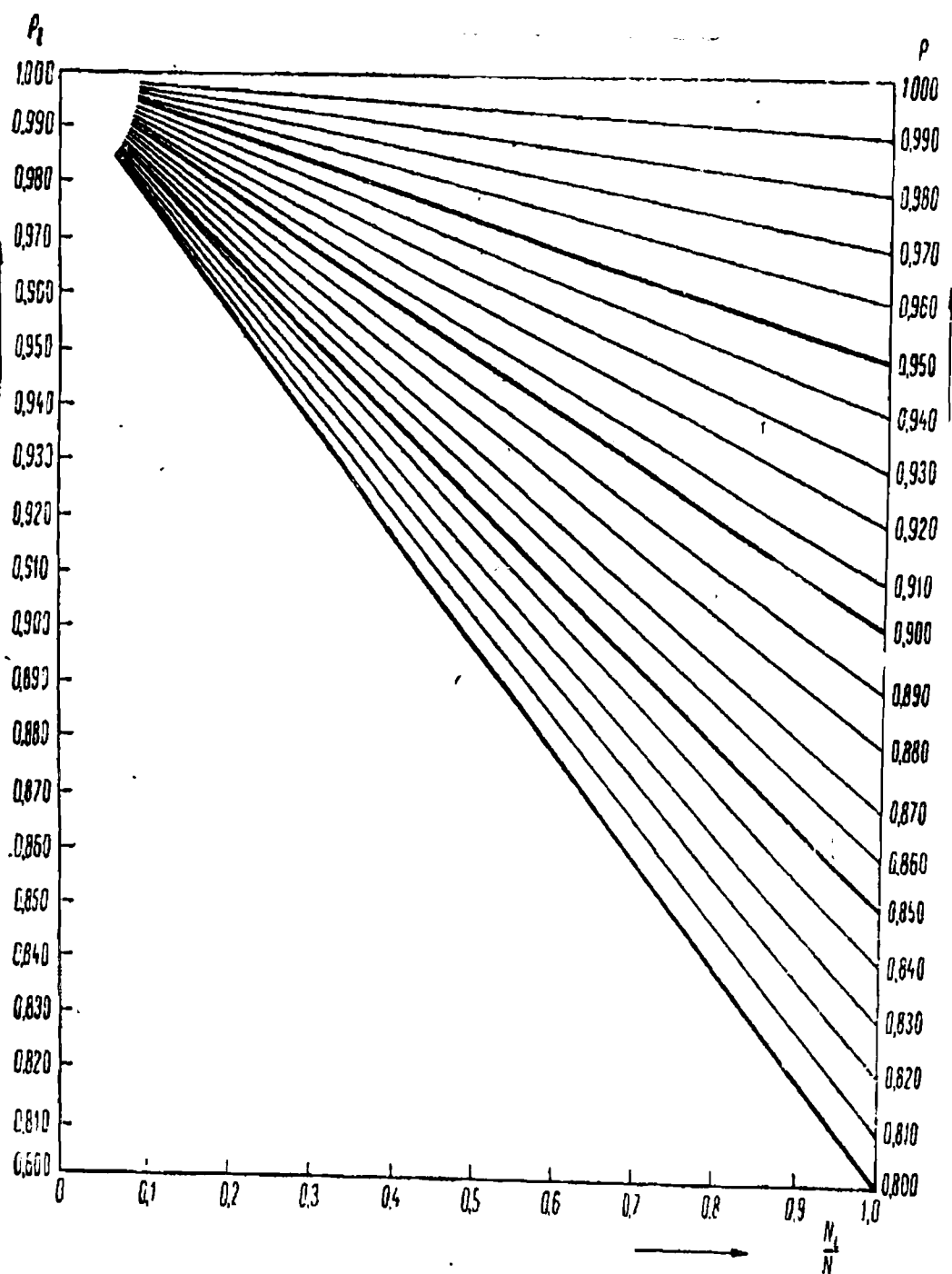


Рис. 2. Номограмма, определяющая зависимость вероятности исправной работы составной части системы от вероятности исправной работы системы и доли сложности составной части системы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоглазов И.Н., Кривцов А.Н., Куценко Б.Н., Сулова О.В. Диагностика и надежность автоматизированных систем. СПб.: Руда и металл, 2004. 167 с.
2. Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков Основы теории надежности автоматических систем управления. – Л.: Энергоатомиздат (Ленингр. отд-ление). 1984. 208.
3. Иванов С.И. Основы теории и расчета показателей надежности/ КНАГТУ. Комсомольск – на – Амуре, 2000. 54 с.
4. Калявин В.П. Основы теории надежности и диагностики. СПб.: Элмор, 1998. – 172 с.
5. Маликов И.М. Надежность судовой электронной аппаратуры и систем автоматического управления. Л.: Судостроение, 1967. 314 с.
6. Мартынов А.А., Долгополов Г.А. Основы теории надежности и диагностики/ НГАВТ. Новосибирск: , 1999. 108 с.
7. Половко А.М. Основы теории надежности. М.: Наука, 1964. 446 с.
8. Хмельницкий А.К., Пожитков В.В., Кондрашкова Г.А. Диагностика и надежность автоматизированных систем/ СПбГТУРП. СПб., 2005. Часть 2. 74 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел 1. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ	4
Глава 1. Расчет критериев надежности для невосстанавливаемых систем.....	-
Глава 2. Расчет критериев надежности для восстанавливаемых систем.....	21
Глава 3. Эксплуатационные критерии надежности систем.....	23
Глава 4. Виды распределений вероятностей, используемые в теории надежности.....	26
Глава 5. Резервирование.....	29
Глава 6. Номограммы, применяемые при расчетах норм надежности.....	40
Раздел 2. ЗАДАЧИ ПО ДИАГНОСТИКЕ СИСТЕМ	46
ПРИЛОЖЕНИЯ	51
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.</i> Значения показателей функции e^{-x} и e^x	-
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.</i> Произведения вероятностей безотказной работы системы.....	56
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ 3.</i> Закон распределения Пуассона $P_r(a) = (a^r/r!)e^{-r}$	57
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ 4.</i> Экспоненциальный закон надежности $P(t) = e^{-(t/T_{cp})}$	59
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ 5.</i> Номограммы.....	60
Библиографический список	62

Артур Константинович Хмельницкий
Владимир Васильевич Пожитков
Галина Анатольевна Кондрашкова

**ЗАДАЧНИК ПО ДИАГНОСТИКЕ И НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Редактор и корректор М.А. Полторац
Техн. редактор Л.Я. Титова.

Темплан 2005 г., поз. 105

Подп. к печати 04.10.2005. Формат бумаги 60 x 84/16. Бумага типа. №3.
Печать офсетная. Уч.-изд.л. 3,5. Усл. печ.л. 3,5. Тираж 150 экз.
Изд. №105. Цена "С" 105. Заказ

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного
технологического университета растительных полимеров, 198095, СПб.,
ул. Ивана Черных, 4