

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 08.10.2023 17:08:09  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb73e943d4a4851fda56d089

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)  
Кафедра Машиностроительных технологий и оборудования**



**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.**

Методические указания к выполнению практической работы №1  
по дисциплине «Методы оценки технического  
уровня в машиностроении»  
для студентов направления  
15.03.05 (151900.62) Конструкторско-технологическое обеспе-  
чение машиностроительных производств  
(очной и заочной формы обучения)

Курск 2016

УДК 621.(923)

Составитель: О.С. Зубкова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Машиностроительные технологии и оборудование»

*А.А. Горохов*

**Расчет основных показателей надежности и работоспособности технологического оборудования:** методические указания по выполнению практической работы №1/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. О.С. Зубкова. Курск, 2016. 23 с., ил. 2, табл. 32, Библиогр.: с. 23.

Содержат сведения об особенностях расчета показателей надежности на различных этапах эксплуатации технологического оборудования. Позволяют получить навыки по расчету вероятности безотказной работы по статистическим данным в период нормальной эксплуатации, в период постепенных отказов, при совместном проявлении отказов различных типов.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС-3 по направлению подготовки дипломированных специалистов 15.03.05 (151900.62) Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Работа предназначена для студентов очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. . Уч. - изд. л. . Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## 1. Цель занятия

Познакомиться с особенностями формирования группы аналогов технологического оборудования.

Работа предусматривает решение следующих задач:

- обоснование выбора классификационных показателей;
- расчет классификационного интервала;
- подбор моделей технологического оборудования;
- формирование группы аналогов и проведение анализа их оценочных показателей.

## 2. Теоретическая часть

### 2.1. Надежность в период нормальной эксплуатации

В этот период постепенные отказы еще не проявляются и надежность характеризуется внезапными отказами. Эти отказы вызываются неблагоприятным стечением многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную интенсивность, которая не зависит от времени работы:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const}, \quad (2.1)$$

где:

$$\lambda = 1/m_t; \quad (2.2)$$

$m_t$  - средняя наработка до отказа.

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}, \quad (2.3)$$

Она подчиняется экспоненциальному закону распределения (рис 2.1) времени безотказной работы и одинакова за любой одинаковый промежуток времени в период нормальной эксплуатации.

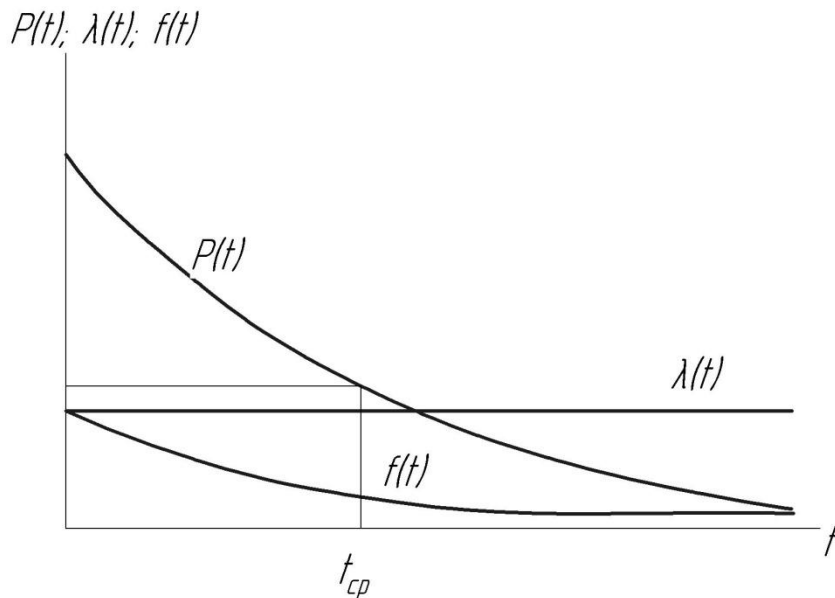


Рисунок 2.1. Основные зависимости экспоненциального закона распределения.

Если  $\lambda t \leq 0,1$ , то формула для вероятности безотказной работы упрощается в результате разложения в ряд и отбрасывания малых членов:

$$P(t) = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots \approx 1 - \lambda t. \quad (2.4)$$

Плотность распределения (в общем случае):

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (2.5)$$

Так как при  $t / m_t = 1$  вероятность безотказной работы  $P(t) \approx 0,37$ , то 63% отказов возникает за время  $t < m_t$  и только 37% позднее. Из приведенных значений следует, что для обеспечения требуемой вероятности безотказной работы 0,9 или 0,99 можно использовать только малую долю среднего срока службы (соответственно 0,1 и 0,01).

Если работа происходит при различных режимах, а следовательно и интенсивности отказов  $\lambda_1$  за время  $t_1$  и  $\lambda_2$  за время  $t_2$ , то

$$P(t) = e^{-(\lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2 + \dots)}. \quad (2.6)$$

Эта зависимость следует из теоремы умножения вероятностей.

Для определения на основании опытов интенсивности отказов оценивают среднюю наработку до отказа:

$$m_t = \bar{t} = \frac{1}{N} \sum t_i, \quad (2.7)$$

где  $N$  – общее число наблюдений.

Тогда:

$$\lambda = 1/\bar{t}. \quad (2.8)$$

Можно воспользоваться также графическим способом (рис 2.2.): нанести экспериментальные точки в координатах  $t$  и  $-\lg P(t)$ . Знак  $-$  выбирается потому, что  $P(t) < 1$  и следовательно  $\lg P(t)$  отрицательная величина.

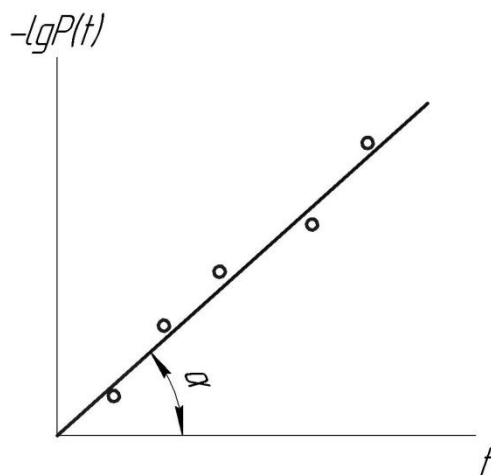


Рисунок 2.2. Графический метод определения вероятности безотказной работы при экспоненциальном законе распределения.

Тогда логарифмируя выражение для вероятности безотказной работы:  $\lg p(t) = -\lambda t \lg e = -0,4343\lambda t$ , заключаем, что тангенс угла прямой, проведенной через экспериментальные точки, равен  $\operatorname{tg} \alpha = 0,4343\lambda$ , откуда  $\lambda = 2,3 \operatorname{tg} \alpha$ .

Вероятностная бумага со шкалой должна иметь для экспоненциального распределения полулогарифмическую шкалу.

Для технической системы:

$$P_{\text{СТ}}(t) = e^{-\sum \lambda_i t}. \quad (2.9)$$

Таким образом вероятность безотказной работы системы состоящей из элементов с вероятностью безотказной работы по экспоненциальному закону, также подчиняется экспоненциальному закону, причем интенсивности отказов отдельных элементов складываются.

Используя экспоненциальный закон распределения, несложно определить среднее число изделий  $n$ , которые выйдут из строя к заданному времени, и среднее число  $N_p$  изделий которые останутся работоспособными:

$$n \approx N\lambda t \quad (2.10)$$

$$N_p \approx N(1 - \lambda t) \quad (2.11)$$

## 2.2. Надежность в период постепенных отказов.

Для характеристики постепенных отказов применяются законы распределения времени безотказной работы, которые дают вначале низкую плотность распределения, затем максимум и далее падение, связанное с уменьшением числа работоспособных элементов.

В связи с многообразием причин и условий возникновения отказов в этот период для описания надежности применяют несколько законов распределений, которые устанавливают путем аппроксимации результатов испытаний или наблюдений в процессе эксплуатации.

**Нормальное распределение** является наиболее универсальным, удобным и широко применимым для практических расчетов.

Распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многие примерно равнозначные факторы.

Плотность распределения:

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2S^2}}, \quad (2.12)$$

Распределение имеет два независимых параметра  $m_t$  - математическое ожидание и  $S$  - среднее квадратичное отклонение. Значения параметров  $m_t$  и  $S$  оценивают по результатам испытаний по формулам:

$$m_t \approx \bar{t} = \frac{\sum t_i}{N}; \quad (2.13)$$

$$S \approx s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (t_i - \bar{t})^2}, \quad (2.14)$$

где  $\bar{t}$  и  $s$  - оценки математического ожидания и среднего квадратичного отклонения.

Сближение параметров и их оценок увеличивается с увеличением числа испытаний.

Интегральная функция распределения:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt. \quad (2.15)$$

Вероятность отказа и вероятность безотказной работы соответственно:

$$Q(t) = F(t); \quad (2.16)$$

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (2.17)$$

Вычисление интегралов заменяют использованием таблиц. Таблицы для нормального распределения достаточно громозд-



кие, т.к. оно имеет два независимых параметра. Однако, можно обойтись небольшими таблицами для нормального распределения, у которого  $m_x = 0$  и  $S_x = 1$ . Для этого распределения функция плотности распределения записывается в относительных координатах с началом на оси симметрии петли.

Функция распределения – интеграл от плотности распределения  $F_0(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$ . Из этого уравнения следует, что  $F_0(x) + F_0(-x) = 1$ , отсюда  $F_0(x) = 1 - F_0(-x)$ .

Для использования таблиц следует применять подстановку  $x = -(t - m_t) / S$ ; при этом  $x$  называется квантилью нормированного нормального распределения и обычно обозначается  $u_p$ . В таблице 2.1 приведены значения  $P(t)$  в зависимости от  $x = u_p = -(t - m_t) / S$ .

В литературе по надежности часто вместо интегральной функции распределения  $F_0(x)$  пользуются функцией Лапласа:

$$\Phi(x) = \int_0^x f_0(x)dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (2.18)$$

Таким образом

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^0 f(x)dx + \int_0^x f(x)dx = 0,5 + \Phi(x). \quad (2.19)$$

Таблица 2.1. – Квантили нормированного нормального распределения.

Квантиль $u_p$	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Квантиль $u_p$	Вероятность безотказной работы $P(t)$
0	0,5	-1,751	0,96
-0,1	0,5398	-1,8	0,9641
-0,126	0,55	-1,881	0,97
-0,2	0,5793	-2	0,9772
-0,253	0,6	-2,054	0,98
-0,3	0,6179	-2,1	0,9821
-0,385	0,65	-2,17	0,985
-0,4	0,6554	-2,2	0,9861
-0,5	0,6915	-2,3	0,9893
-0,524	0,7	-2,326	0,99
-0,6	0,7257	-2,4	0,9918
-0,674	0,75	-2,409	0,992
-0,7	0,7580	-2,5	0,9938
-0,8	0,7881	-2,576	0,995
-0,842	0,8	-2,6	0,9953
-0,9	0,8159	-2,652	0,996
-1	0,8413	-2,7	0,9965
-1,036	0,85	-2,748	0,997
-1,1	0,8643	-2,8	0,9974
-1,2	0,8849	-2,878	0,998
-1,282	0,9	-2,9	0,9981
-1,3	0,9032	-3	0,9986
-1,4	0,9192	-3,09	0,999
-1,5	0,9332	-3,291	0,9995
-1,6	0,9452	-3,5	0,9998
-1,645	0,95	-3,719	0,9999
-1,7	0,9554		

Вероятность отказа и вероятность безотказной работы, отличающиеся пределами интегрирования, выраженные через функцию Лапласа имеют вид:

$$Q(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{t - m_t}{S}\right); \quad (2.20)$$

$$P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t - m_t}{S}\right). \quad (2.21)$$

Сравнивая технические системы с одинаковой средней наработкой до отказа и разным средним квадратичным отклонением, нужно подчеркнуть, что хотя при больших  $S$  имеются экземпляры с большой долговечностью, но чем меньше  $S$ , тем более качественными считаются изделия в целом.

Помимо задачи оценки вероятности безотказной работы за данное время встречается обратная задача – определение времени или наработки, соответствующих заданной вероятности безотказной работы. В связи с этим вводится понятие гамма процентного ресурса –  $T_\gamma$  - время в течении которого  $\gamma\%$  изделий остается работоспособными.

### **2.3. Надежность в период совместного действия внезапных и постепенных отказов.**

Распределение Вейбулла довольно универсально, охватывает путем варьирования параметров широкий диапазон случаев изменения вероятностей. Им описывается наработка до отказа по усталостным разрушениям, наработку подшипников качения, применяется для оценки надежности по приработочным отказам.

Распределение Вейбулла имеет два параметра : параметр формы  $m > 0$  и параметр масштаба  $t_0 > 0$ .

Распределение характеризуется следующей функцией вероятности безотказной работы:

$$P(t) = e^{-t^m / t_0}. \quad (2.22)$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1}; \quad (2.23)$$

Плотность распределения:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-t^m / t_0}. \quad (2.24)$$

Математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение соответственно:

$$m_t = b_m t_0^{1/m}; \quad (2.25)$$

$$S_t = c_m t_0^{1/m}. \quad (2.26)$$

Возможности и универсальность распределения Вейбулла видны из следующих пояснений:

При  $m < 1$  функции  $\lambda(t)$  и  $f(t)$  от наработки до отказа убывающие.

При  $m = 1$  распределение превращается в экспоненциальное  $\lambda(t) = const$  и  $f(t)$  - убывающая функция.

При  $m > 1$  функция  $f(t)$  - одновершинная, функция  $\lambda(t)$  непрерывно возрастающая при  $1 < m < 2$  с выпуклостью вверх, а при  $m > 2$  - с выпуклостью вниз.

При  $m = 2$  функция  $\lambda(t)$  является линейной и распределение Вейбулла превращается в распределение Рэля.

При  $m = 3$  распределение Вейбулла близко к нормальному.

### 3. Задания к практическим работам.

3.1. Рассчитать интенсивность отказов  $\lambda$  и вероятность внезапных отказов  $P(t)$  станка в течение  $t$  часов если средняя наработка на отказ составляет  $\bar{t}$  часов. Расчет ведется до 6 знака.

Таблица 3.1. – Задания к задаче 3.1.

№	$t$	$\bar{t}$
1	2	3
1	10000	$3 \cdot 10^6$
2	8000	$1,5 \cdot 10^5$
3	7500	$10^6$
4	5000	$10^5$
5	3000	$1,6 \cdot 10^4$
6	5500	$3 \cdot 10^4$
7	7000	$2 \cdot 10^5$
8	6500	$10^4$
9	11000	$10^7$
10	10500	$1,6 \cdot 10^4$
11	10000	$1,2 \cdot 10^4$
12	9000	$1,44 \cdot 10^5$
13	3500	$3 \cdot 10^6$
14	2000	$1,5 \cdot 10^5$
15	4000	$1,8 \cdot 10^4$
16	4500	$6 \cdot 10^4$
17	8500	$1,23 \cdot 10^4$
18	2500	$3 \cdot 10^4$
19	6700	$10^5$
20	9800	$10^6$

3.2. В результате проведенных экспериментов были получены зависимости  $P(t)$ . Определить графическим способом интенсивность отказов и вероятность безотказной работы для  $t_1$  и  $t_2$ .

Таблица 3.2. – Задания к задаче 3.2. Вариант 1

$t$ (лет)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$P(t)$	0,82	0,68	0,54	0,42	0,36	0,3

$t_1=0,8$ ;  $t_2=2,2$ .

Таблица 3.3. – Задания к задаче 3.2. Вариант 2

$t$ (лет)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$P(t)$	0,7	0,52	0,4	0,29	0,21	0,16

$t_1=1,8$ ;  $t_2=2,8$ .

Таблица 3.4. – Задания к задаче 3.2. Вариант 3

$t$ (лет)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$P(t)$	0,6	0,43	0,31	0,2	0,12	0,08

$t_1=1,3$ ;  $t_2=3,2$ .

Таблица 3.5. – Задания к задаче 3.2. Вариант 4

$t$ (лет)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$P(t)$	0,6	0,34	0,2	0,1	0,07	0,04

$t_1=0,3$ ;  $t_2=1,2$ .

Таблица 3.6. – Задания к задаче 3.2. Вариант 5

$t$ (лет)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$P(t)$	0,51	0,27	0,14	0,071	0,038	0,02

$t_1=1,8$ ;  $t_2=2,8$ .

Таблица 3.7. – Задания к задаче 3.2. Вариант 6

$t$ (лет)	1	2	3	4	5	6
$P(t)$	0,61	0,38	0,23	0,15	0,088	0,053

$t_1=1,5$ ;  $t_2=2,5$ .

Таблица 3.8. – Задания к задаче 3.2. Вариант 7

$t$ (лет)	1	2	3	4	5	6
$P(t)$	0,495	0,25	0,12	0,06	0,03	0,015

$$t_1=2,5; t_2=3,5.$$

Таблица 3.9. – Задания к задаче 3.2. Вариант 8

$t$ (лет)	1	2	3	4	5	6
$P(t)$	0,4	0,14	0,053	0,02	0,007	0,003

$$t_1=3,5; t_2=4,5.$$

Таблица 3.10. – Задания к задаче 3.2. Вариант 9

$t$ (лет)	1	2	3	4	5	6
$P(t)$	0,2	0,04	0,008	0,002	0,0003	0,00006

$$t_1=4,5; t_2=5,5.$$

Таблица 3.11. – Задания к задаче 3.2. Вариант 10

$t$ (лет)	1	2	3	4	5	6
$P(t)$	0,22	0,05	0,011	0,0025	0,0005	0,0001

$$t_1=0,5; t_2=3,5.$$

Таблица 3.12. – Задания к задаче 3.2. Вариант 11

$t$ (лет)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$P(t)$	0,94	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69

$$t_1=0,25; t_2=0,35.$$

Таблица 3.13. – Задания к задаче 3.2. Вариант 12

$t$ (лет)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$P(t)$	0,9	0,8	0,72	0,65	0,58	0,52

$$t_1=0,15; t_2=0,45.$$

Таблица 3.14. – Задания к задаче 3.2. Вариант 13

$t$ (лет)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$P(t)$	0,85	0,72	0,62	0,52	0,45	0,38

$$t_1=0,05; t_2=0,55.$$

Таблица 3.15. – Задания к задаче 3.2. Вариант 14

$t$ (лет)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$P(t)$	0,79	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25

$$t_1=0,15; t_2=0,35.$$

Таблица 3.16. – Задания к задаче 3.2. Вариант 15

$t$ (лет)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$P(t)$	0,72	0,52	0,37	0,27	0,19	0,14

$$t_1=0,15; t_2=0,45.$$

Таблица 3.17. – Задания к задаче 3.2. Вариант 16

$t$ (лет)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
$P(t)$	0,73	0,55	0,4	0,3	0,22	0,16

$$t_1=5; t_2=8.$$

Таблица 3.18. – Задания к задаче 3.2. Вариант 17

$t$ (лет)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
$P(t)$	0,51	0,26	0,13	0,07	0,035	0,018

$$t_1=4; t_2=7.$$

Таблица 3.19. – Задания к задаче 3.2. Вариант 18

$t$ (лет)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
$P(t)$	0,35	0,12	0,04	0,015	0,005	0,002

$$t_1=3,5; t_2=5,5.$$

Таблица 3.20. – Задания к задаче 3.2. Вариант 19

$t$ (лет)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
$P(t)$	0,23	0,05	0,012	0,003	0,0007	0,0002

$$t_1=1; t_2=2,5.$$

Таблица 3.21. – Задания к задаче 3.2. Вариант 20

$t$ (лет)	1,5	3	4,5	6	7,5	9
$P(t)$	0,16	0,025	0,004	0,0007	0,0001	0,00002

$$t_1=2; t_2=4.$$



Таблица 3.22. – Задания к задаче 3.2. Вариант 21

t (лет)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
P(t)	0,78	0,6	0,47	0,37	0,28	0,22

$$t_1=0,4; t_2=1,7.$$

Таблица 3.23. – Задания к задаче 3.2. Вариант 22

t (лет)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
P(t)	0,67	0,45	0,3	0,2	0,14	0,09

$$t_1=0,5; t_2=1.$$

Таблица 3.24. – Задания к задаче 3.2. Вариант 23

t (лет)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
P(t)	0,56	0,31	0,18	0,09	0,055	0,03

$$t_1=0,7; t_2=1,3.$$

Таблица 3.25. – Задания к задаче 3.2. Вариант 24

t (лет)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
P(t)	0,44	0,19	0,08	0,037	0,016	0,007

$$t_1=0,8; t_2=1,3.$$

Таблица 3.26. – Задания к задаче 3.2. Вариант 25

t (лет)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
P(t)	0,3	0,09	0,03	0,008	0,0025	0,0007

$$t_1=0,8; t_2=1,6.$$

- 3.3. Техническая система состоит из четырех элементов (узлов). Определить вероятность безотказной работы системы, если известно время ее работы  $t$  часов и интенсивности отказов узлов  $\lambda_i$  отказов/час.

Таблица 3.27 – Задания к задаче 3.3

№	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$t$
1	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$0,23 \cdot 10^{-6}$	$0,66 \cdot 10^{-6}$	$0,12 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^6$
2	$8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2,96 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^5$
3	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$0,52 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^4$
4	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$0,13 \cdot 10^{-4}$	$2,45 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^4$
5	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,23 \cdot 10^{-4}$	$0,39 \cdot 10^{-4}$	$0,18 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^4$
6	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$0,31 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^4$
7	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$0,89 \cdot 10^{-6}$	$0,55 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^5$
8	$0,54 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$2,18 \cdot 10^{-4}$	$0,77 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^4$
9	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,92 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$2,34 \cdot 10^3$
10	$4,35 \cdot 10^{-4}$	$5,47 \cdot 10^{-4}$	$0,95 \cdot 10^{-4}$	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^4$
11	$0,07 \cdot 10^{-4}$	$0,05 \cdot 10^{-4}$	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$0,02 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^4$
12	$3,31 \cdot 10^{-6}$	$2,26 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-6}$	$0,19 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^5$
13	$3,69 \cdot 10^{-6}$	$2,13 \cdot 10^{-6}$	$0,92 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^6$
14	$0,7 \cdot 10^{-5}$	$0,14 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$0,01 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^5$
15	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$0,28 \cdot 10^{-5}$	$0,68 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^4$
16	$3,07 \cdot 10^{-4}$	$4,25 \cdot 10^{-4}$	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$2,16 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^4$
17	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,19 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^4$
18	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,71 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^4$
19	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$0,15 \cdot 10^{-5}$	$0,02 \cdot 10^{-5}$	$0,07 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^5$
20	$3,03 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$0,19 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^4$

3.4. Оборудование может работать при трех основных режимах. Оценить вероятность безотказной работы, если известно время работы на каждом из режимов  $t_i$  (час), и время наработки на отказ для каждого режима  $\bar{t}_i$  (час).

Таблица 3.28 – Задания к задаче 3.4

№	$t_1$	$\bar{t}_1$	$t_2$	$\bar{t}_2$	$t_3$	$\bar{t}_3$
1	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$7,14 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$0,5 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$
2	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$
3	$0,11 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$
4	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^6$	$4,01 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$
5	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^7$	$12 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$
6	$0,11 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$7,14 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$
7	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	$4,42 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$
8	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$
9	$0,11 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$5,3 \cdot 10^6$	$4,01 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$
10	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^7$	$12 \cdot 10^7$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$
11	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$7,14 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$7,2 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$
12	$0,11 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$0,9 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$
13	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$
14	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^6$	$4,01 \cdot 10^6$	$4,42 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$
15	$0,11 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^7$	$12 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$
16	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$7,14 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$
17	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$
18	$0,11 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$
19	$1,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^6$	$4,01 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$
20	$5,6 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^7$	$12 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$

3.5. Оценить вероятность  $P(t)$  безотказной работы в течении  $t$  изнашиваемого подвижного соединения, если ресурс по износу подчиняется нормальному распределению с параметрами  $m_t$  и  $\sigma$ .

Таблица 3.29 – Задания к задаче 3.5

№	$t$ , ч	$m_t$ , ч	$\sigma$ , ч
1	$1,5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$10^2$
2	$5 \cdot 10^4$	$5,842 \cdot 10^4$	$10^2$
3	$3,3 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$10^3$
4	$2,5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$10^3$
5	$8 \cdot 10^3$	$8,125 \cdot 10^3$	10
6	$4,15 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^5$	$10^3$
7	$7,7 \cdot 10^4$	$10^5$	$10^2$
8	$1,2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	10
9	$0,8 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$10^2$
10	$6 \cdot 10^4$	$7,456 \cdot 10^4$	$10^2$
11	$3,5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$10^2$
12	$2 \cdot 10^5$	$5,989 \cdot 10^5$	$10^3$
13	$2,2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$10^2$
14	$1,71 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^6$	$10^3$
15	$8,3 \cdot 10^4$	$2,581 \cdot 10^5$	$10^3$
16	$10^5$	$6,77 \cdot 10^4$	$10^2$
17	$1,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$10^3$
18	$2 \cdot 10^4$	$4,326 \cdot 10^4$	$10^2$
19	$0,23 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$	$10^3$
20	$1,8 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$10^3$

3.6. Оценить гамма-процентный ресурс  $t_\gamma$  детали, если известно, что ее долговечность ограничена по износу, ресурс подчиняется нормальному закону распределения с параметрами  $m_t$  и  $\sigma$ .

Таблица 3.30 – Задания к задаче 3.6

№	$\gamma$ , %	$m_t$ , ч	$\sigma$ , ч
1	55	$10^5$	$5,7 \cdot 10^3$
2	75	$10^5$	$9,2 \cdot 10^3$
3	90	$10^6$	$3,3 \cdot 10^3$
4	99	$10^6$	$7,7 \cdot 10^3$
5	96	$10^4$	$2,5 \cdot 10^2$
6	70	$10^6$	$6,6 \cdot 10^3$
7	50	$10^7$	$9,1 \cdot 10^3$
8	30	$10^5$	$5,3 \cdot 10^2$
9	25	$10^5$	$2,8 \cdot 10^3$
10	65	$10^5$	$4,56 \cdot 10^2$
11	80	$10^5$	$4,98 \cdot 10^2$
12	95	$10^6$	$2,23 \cdot 10^3$
13	45	$10^5$	$3,35 \cdot 10^2$
14	97	$10^7$	$5,37 \cdot 10^3$
15	35	$10^5$	$5,7 \cdot 10^3$
16	40	$10^5$	$3,45 \cdot 10^2$
17	20	$10^7$	$4,46 \cdot 10^3$
18	15	$10^5$	$2,6 \cdot 10^2$
19	10	$10^5$	$6,9 \cdot 10^2$
20	85	$10^7$	$2,33 \cdot 10^3$

3.7. Оценить безотказность работы  $P(t)$  подшипника в течении  $t$  часов, если ресурс подшипников описывается распределением Вейбулла с параметрами  $t_0$  и  $m$ .

Таблица 3.31 – Задания к задаче 3.7

№	$m$	$t_0$ , ч	$t$ , ч
1	1,5	$10^5$	$7,3 \cdot 10^4$
2	2	$10^5$	$2,5 \cdot 10^4$
3	2,5	$10^6$	$3,8 \cdot 10^5$
4	3	$10^6$	$7,2 \cdot 10^5$
5	3,5	$10^6$	$5,6 \cdot 10^3$
6	1,75	$10^6$	$6,8 \cdot 10^5$
7	2,3	$10^7$	$1,5 \cdot 10^5$
8	2,75	$10^5$	$3,2 \cdot 10^3$
9	3,3	$10^5$	$8,5 \cdot 10^4$
10	1,5	$10^5$	$5,6 \cdot 10^4$
11	2	$10^5$	$9,8 \cdot 10^4$
12	2,5	$10^6$	$3,1 \cdot 10^5$
13	3	$10^5$	$3,5 \cdot 10^4$
14	3,5	$10^7$	$3,7 \cdot 10^6$
15	1,75	$10^5$	$7,7 \cdot 10^5$
16	2,3	$10^5$	$4,5 \cdot 10^4$
17	2,75	$10^7$	$6,5 \cdot 10^6$
18	3,3	$10^5$	$6,4 \cdot 10^4$
19	1,5	$10^5$	$9,5 \cdot 10^4$
20	2	$10^7$	$3,3 \cdot 10^6$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Схиртладзе А. Г. Технологическое оборудование машиностроительных производств [Текст] : учебное пособие / А. Г. Схиртладзе, Т. Н. Иванова, В. П. Борискин. - 2-е изд., перера б. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2009. - 708 с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Под ред. А. С.Проникова. В 3-х т. Т.1 – М.: изд-во «Машиностроение», 1994. – 444 с.