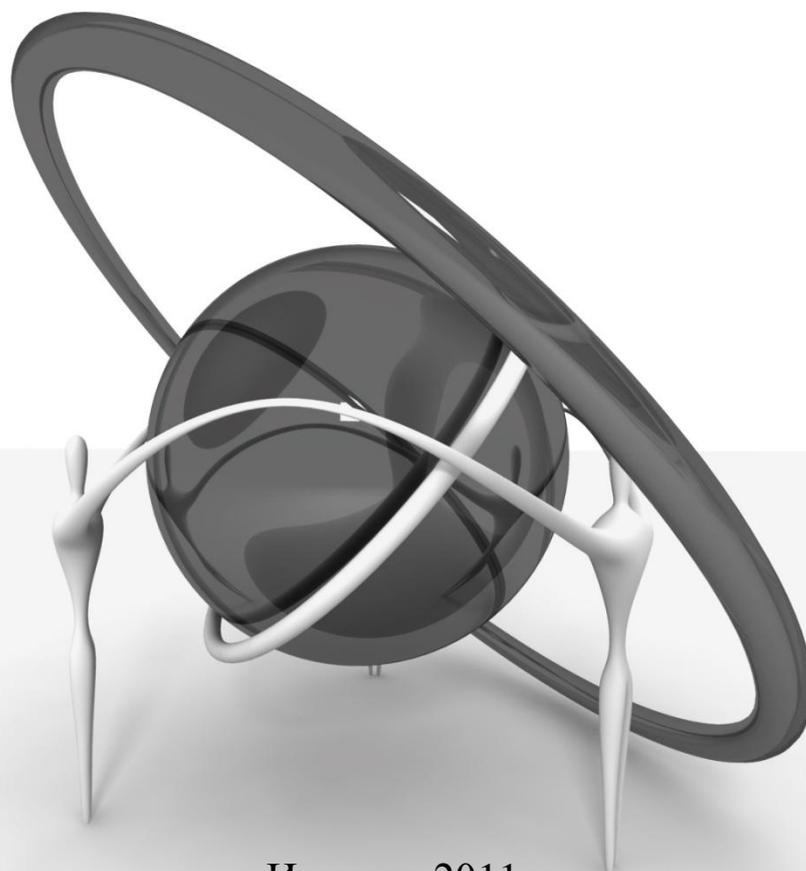


**ЧАСТНЫЕ
ПОКАЗАТЕЛИ
БЕЗОТКАЗНОСТИ**



ИВАНОВО 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Ивановская государственная текстильная академия»
(ИГТА)

Кафедра технологии машиностроительного производства

ЧАСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ

*Методические указания
для практических занятий*

Иваново 2011

Предлагаемые методические указания предназначены для организации аудиторной и самостоятельной работы студентов, изучающих дисциплины «Надежность машин», «Основы теории надежности», «Надежность бытовых машин и приборов». Методические указания содержат теоретические сведения по количественным показателям безотказности, примеры решения задач, 20 вариантов индивидуальных заданий.

Составители: канд. техн. наук, проф. С.А. Егоров,
канд. физ.-мат. наук, доц. Н.Е. Егорова

Научный редактор д-р техн. наук, проф. Н.А. Коробов

Редактор И.Н. Худякова

Корректор К.А. Торопова

Подписано в печать 29.06.2011.

Формат 1/16 60×84. Бумага писчая. Плоская печать.

Усл. печ. л. 1,16. Уч-изд. л. 1,11. Тираж 100 экз.

Заказ № _____

*Редакционно-издательский отдел
Ивановской государственной текстильной академии
Копировально-множительное бюро
153000 г. Иваново, пр. Ф.Энгельса, 21*

Цель работы: получить практические навыки по расчету частных показателей безотказности ремонтируемых и неремонтируемых изделий.

Теоретическая часть

Под безотказностью понимается свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. Для определения безотказности на заводе-изготовителе проводят испытания на отказ. Задача испытаний заключается в сравнении конструкторских решений однотипных изделий. Для этого необходимо иметь ряд количественных показателей, которые подразделяются на *частные*, характеризующие одно из свойств, составляющих надежность изделия, и *комплексные*, характеризующие одновременно несколько свойств.

Все показатели надежности подразделяются на статистические и вероятностные. *Статистические* показатели надежности рассчитывают по статистическим данным об отказах. Они могут отличаться от истинного значения параметра. *Вероятностные* показатели надежности определяются по аналитическим зависимостям для соответствующих законов распределения наблюдаемых случайных величин. Их используют при оценке уровня надежности вновь создаваемого оборудования в процессе проектирования или для задач планирования изготовления и применения данного вида оборудования в отрасли.

Изделия классифицируют по различным признакам: временному режиму использования, ремонтпригодности, ограничению периода эксплуатации, последствиям отказа и др. *Неремонтируемые* изделия – это изделия, работающие до первого отказа и условно не подлежащие восстановлению. *Ремонтируемые* изделия – это изделия, допускающие в процессе эксплуатации более чем один отказ. Далее изделия теряют работоспособность на период восстановления.

Для оценки уровня безотказности изделий предусматриваются следующие количественные показатели: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, интенсивность отказов, частота отказов, наработка на отказ, средняя наработка до отказа, параметр потока отказов.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени или заданной наработки отказ изделия не возникнет.

Как следует из определения, вероятность безотказной работы является временной функцией. Если через T обозначить время непрерывной безотказной работы оборудования от начала работы до отказа, а через t – время, для которого требуется определить вероятность безотказной работы, то $P(t)$ есть вероятность того, что случайная величина T будет больше или равна t , т. е. $P(t) = P(T \geq t)$.

Функция вероятности безотказной работы обладает следующими свойствами:

1. Вероятность $P(t)$ является убывающей функцией времени.
2. $P(0) = 1$; $P(\infty) = 0$.
3. $0 \leq P(t) \leq 1$.

Вероятностное значение вероятности безотказной работы определяется из уравнения

$$P(t) = 1 - F(t), \quad (1)$$

где $F(t)$ – интегральная функция распределения наработки на отказ (до отказа).

Статистической оценкой вероятности безотказной работы для неремонтируемых изделий служит уравнение

$$P(t) = N(t)/N_0, \quad (2)$$

где $N(t)$ – количество изделий, работоспособных к моменту t ;

N_0 – количество изделий, поставленных под наблюдение,

а для ремонтируемых изделий – уравнение

$$P(t) = 1 - n(t)/N_0, \quad (3)$$

где $n(t)$ – количество изделий, имевших хотя бы один отказ за период времени от 0 до t .

Для практических целей иногда более удобной характеристикой является не вероятность безотказной работы, а **вероятность отказа $Q(t)$** . Поскольку $Q(t)$ и $P(t)$ – вероятности противоположных событий, образующих полную группу событий, то

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (4)$$

Вероятность безотказной работы как количественная характеристика надежности имеет следующие преимущества:

- характеризует изменение надежности оборудования во времени;
- является достаточно полной характеристикой надежности оборудования, поскольку охватывает большое число факторов, влияющих на ее величину;
- дает возможность рассчитать надежность оборудования в процессе его проектирования.

Наряду с указанными преимуществами $P(t)$ как критерий надежности имеет и существенные недостатки:

- характеризует надежность ремонтируемых изделий только до первого отказа и поэтому является достаточно полной характеристикой только для неремонтируемых изделий;
- по известной $P(t)$ невозможно определить другие количественные характеристики надежности;
- не позволяет охарактеризовать зависимость между временными составляющими цикла эксплуатации.

Указанные недостатки говорят о том, что вероятность безотказной работы, как и любая другая характеристика, не позволяет в полной мере оценить такое свойство изделия, как надежность, и поэтому не может быть с ним отождествлена.

Наработка на отказ T_O – отношение наработки восстанавливаемого изделия к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Как всякое математическое ожидание случайной величины наработка на отказ определяется зависимостью

$$T_O = \int_0^{+\infty} t f(t) dt, \quad (5)$$

где $f(t)$ – дифференциальная функция распределения наработки на отказ.

Статистическое значение T_O^* подсчитывается по формуле

$$T_O^* = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}, = T_M/m, \quad (6)$$

где m – число отказов изделия за период t ; t_i – время исправной работы

изделия между $(i - 1)$ -м и i -м отказами; T_M – суммарное время безотказной работы изделия за период t .

Средняя наработка до отказа T_{cp} – математическое ожидание наработки изделия до первого отказа. Статистическое значение T_{cp}^* подсчитывается по формуле

$$T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (7)$$

где t_i – время работы i -го изделия до первого отказа.

Наработка на отказ и наработка до отказа являются одними из наиболее наглядных количественных характеристик надежности. Однако и этим характеристикам свойственны существенные недостатки. Как математическое ожидание случайной величины они не могут полностью характеризовать время безотказной работы изделия: необходимо, по меньшей мере, знать еще и дисперсию времени его безотказной работы. Кроме того, эти характеристики не позволяют оценить надежность той части изделий, время работы которых меньше среднего времени безотказной работы.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – условная плотность вероятности возникновения отказа невозстанавливаемого изделия, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Для аналитического определения интенсивности отказов по известному закону распределения наработки до отказа применяется формула

$$\lambda(t) = f(t)/P(t). \quad (8)$$

Статистическое значение интенсивности отказов может быть определено как отношение числа изделий, отказавших в единицу времени, к среднему числу изделий, исправно работающих в данный промежуток времени:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \Delta t}, \quad (9)$$

где Δt – принятый достаточно малый интервал времени, $n(\Delta t)$ – количество

изделий, отказавших в интервале от $t-\Delta t/2$ до $t+\Delta t/2$; $N_{cp}=(N_1+N_2)/2$ – среднее количество изделий, исправно работающих в интервале Δt ; N_1 – количество изделий, исправно работающих в начале интервала; N_2 – количество изделий, исправно работающих в конце интервала.

Интенсивность отказов как количественная характеристика надежности обладает рядом достоинств: являясь функцией времени, позволяет наглядно установить характерные периоды работы изделия и тем самым определить методы повышения его надежности; дает возможность легко подсчитать другие показатели надежности. Недостаток показателя интенсивности отказов заключается в том, что он достаточно полно характеризует надежность изделия только до первого отказа и поэтому является удобной характеристикой лишь для невосстанавливаемых изделий.

Параметр потока отказов $\omega(t)$ – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого изделия, определяемая для рассматриваемого момента времени.

Вероятностное значение параметра потока отказов определяется по уравнению

$$\omega(t) = dH(t)/dt, \quad (10)$$

где $H(t)$ – функция надежности.

Для определения статистического значения $\omega(t)$ используется формула

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i}{N_0 \Delta t} = \frac{m_{cp}(t + \Delta t) - m_{cp}(t)}{\Delta t}, \quad (11)$$

где N_0 – количество изделий, поставленных под наблюдение; Δt – принятый интервал времени; m_i – количество отказов i -го изделия в период от t до $t+\Delta t$; m_{cp} – среднее количество отказов N_0 изделий за период от t до $t+\Delta t$.

Из формулы (11) видно, что *параметр потока отказов* – это среднее количество отказов ремонтируемых изделий в единицу времени, взятое для рассматриваемого достаточно малого промежутка времени Δt .

Параметр потока отказов $\omega(t)$ как количественная характеристика надежности обладает следующими основными преимуществами:

- позволяет легко установить связь между остальными показателями надежности;
- достаточно полно характеризует надежность ремонтируемого изделия;
- позволяет определять номенклатуру и количество запасных деталей, необходимых для нормальной эксплуатации оборудования;
- дает возможность правильно планировать частоту профилактических мероприятий.

Гамма-процентная наработка до отказа T_γ – наработка, в течение которой отказ изделия не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Вероятностное значение данного показателя находят из уравнения

$$P(t_\gamma) = 1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f(t) dt, \quad (12)$$

где $F(t_\gamma)$ – интегральная функция распределения наработки до отказа, γ - доверительная вероятность.

Статистическое значение может быть определено из неравенства

$$\frac{n(t_i)}{N_0} \leq 1 - \frac{\gamma}{100}, \quad (13)$$

где N_0 – количество изделий, поставленных под наблюдение, $n(t_i)$ – количество изделий, имевших отказы на момент времени t_i .

Частота отказов $f(t)$ – отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу изделий, установленных под испытание, при условии, что отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

Вероятностное значение совпадает с дифференциальной функцией распределения наработки до отказа, а статистическое значение определяют по формуле

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (14)$$

где $N(\Delta t)$ – количество изделий, отказавших в интервале Δt ; Δt – принятый достаточно малый интервал времени, N_0 – количество изделий, поставленных под наблюдение.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Под испытание установлено 50 чесальных машин марки ЧММ-450-5. Через 32 часа работы 30 машин имели хотя бы один отказ. Определить вероятность безотказной работы машины за 32 часа работы.

Решение. В соответствии с формулой (3) имеем:

$$P(t) = 1 - n(t)/N_0 = 1 - 30/50 = 1 - 0,6 = 0,4.$$

Пример 2. Для оценки уровня работоспособности торсионного валика проведены ускоренные испытания 10 валиков в течение 24 ч. В результате испытаний получены следующие статистические данные по наработке до отказа: $t_1 = 21,0$ ч; $t_2 = 22,5$ ч; $t_3 = 21,4$ ч; $t_4 = 23,6$ ч; $t_5 = 23,2$ ч; $t_6 = 22,8$ ч; $t_7 = 23,8$ ч.

Определить статистическое значение средней наработки до отказа торсионного валика при условии, что отказавшие валики не восстанавливались и не заменялись новыми.

Решение. В случае нецензурированной выборки статистическое значение средней наработки до отказа определяют по формуле (7):

$$T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0} = \frac{21,0 + 22,5 + 21,4 + 23,6 + 23,2 + 22,8 + 23,8 + 24 \cdot (10-7)}{10} = 23,04(\text{ч}).$$

Пример 3. Под наблюдение установлено 5 станков АТПР-120. За период испытания $t_{и} = 300$ ч получены статистические данные об отказах, представленные в следующей таблице:

$T_{M_j} = \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}$	240	262	238	275	256
r_j	12	10	14	8	10

Определить статистическое значение средней наработки на отказ станка АТПР-120, если отказы, возникающие в период испытания, устранялись, а вид потока отказов неизвестен.

Решение. Воспользуемся формулой (6):

$$T_o = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} T_{M_j}}{\sum_{j=0}^{N_0} r_j} = \frac{240 + 262 + 238 + 275 + 256}{12 + 10 + 14 + 8 + 10} = \frac{1265}{54} = 24,4(\text{ч}).$$

Пример 4. Под наблюдение установлено 16 изделий. В процессе испытаний были получены следующие значения наработки до отказа в часах: 6, 7, 6, 8, 3, 15, 8, 8, 11, 10, 17, 14, 15, 14, 10, 15.

Определить статистическое значение 80%-й наработки изделия до отказа, если отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

Решение. Статистическое значение гамма-процентной наработки до отказа определяем из неравенства (13):

$$\frac{n(t_i)}{N_0} \leq 1 - \frac{\gamma}{100}, \text{ так как } N_0 > 0, \text{ умножение правой и левой частей}$$

неравенства не повлияет на смену знака.

$$n(t_i) \leq \left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) \cdot N_0 = \left(1 - \frac{80}{100}\right) \cdot 16 = 3,2. \text{ Количество отказов на}$$

момент времени t_γ должно быть не больше 3,2.

Далее строим вариационный ряд: 3, 6, 6, 7, 8, 8, 8, 10, 10, 11, 14, 14, 15, 15, 17. Пользуясь рядом, находим период времени, когда количество отказов не больше 3,2. Это третий отказ, произошедший в течение 6 ч.

Таким образом $t_\gamma = 6$ часов.

Пример 5. Под испытание установлено 100 малогабаритных прокладчиков утка, причиной потери работоспособности которых является поломка пружины. За период испытания 1500 часов отказало 12 изделий.

Определить интенсивность отказов прокладчиков утка за период испытания при условии, что отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

$$\text{Решение. Из формулы (9) получим } \lambda(t) = \frac{12}{\frac{100+88}{2} \cdot 1500} = 0,000085 \left(ч^{-1}\right)$$

Пример 6. При испытании 3 пневморепарных станков за 1080 часов было зафиксировано следующее количество отказов: $r_1 = 28$, $r_2 = 27$, $r_3 = 23$.

Определить статистическое значение параметра потока отказов станка за 1080 часов при условии, что вид потока отказов неизвестен.

$$\text{Решение. Используя формулу (11), получим: } \omega(t) = \frac{28 + 27 + 23}{3 \cdot 1080} = 0,024.$$

ЗАДАНИЯ ДЛЯ АУДИТОРНОЙ РАБОТЫ

ЗАДАЧА 1

Под испытание установлено 54 изделия. Через 2100 часов отказало 6 из них. Определить статистическое значение вероятности безотказной работы и вероятность отказа за 2100 часов, если отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

ЗАДАЧА 2

Под испытание установлено 1652 изделия (зуба батана станка СТБ). За 720 часов сломалось 262 зуба. Определить статистическое значение интенсивности отказов, если отказавшие зубья не восстанавливались и не заменялись новыми.

ЗАДАЧА 3

При испытании 540 торсионных валиков через каждые 1500 часов фиксировалось число сломанных валиков за истекший период:

Δt_j	$n(\Delta t_j)$
0 – 1500	11
1500 – 3000	46
3000 – 4500	65
4500 – 6000	146

Δt_j	$n(\Delta t_j)$
6000 – 7500	140
7500 – 9000	62
9000 – 10500	50
10500 – 12000	20

- 1) Построить график зависимости вероятности безотказной работы от времени.
- 2) Построить график зависимости интенсивности отказов от времени.

ЗАДАЧА 4

На испытание поставлено 1000 изделий. За 3000 часов отказало 80 изделий, а за интервал с 3000 по 4000 час отказало ещё 50 изделий.

Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа за $t_1 = 3000$ часов и $t_2 = 4000$ часов; частоту и интенсивность отказов в промежутке времени с 3000 по 4000 час.

ЗАДАЧА 5

Под испытание установлено две чесальные машины. За 168 часов на первой машине зафиксировано 2 отказа, а на второй – 4. Определить

статистическое значение параметра потока отказов при условии, что вид потока неизвестен.

ЗАДАЧА 6

При исследовании уровня надежности кольцепрядильных машин под наблюдение были установлены 4 машины. За первые 480 часов было зафиксировано $m_1=16$, $m_2=14$, $m_3=22$, $m_4=12$ отказов. А за последующие 720 часов было зафиксировано ещё $m_1=27$, $m_2=20$, $m_3=28$, $m_4=37$ отказов. Определить статистическое значение параметра потока отказов кольцепрядильной машины за интервал в 720 часов при условии, что вид потока отказов неизвестен.

ЗАДАЧА 7

Под испытание установлено 6 тормозных пластинок. За критерий потери работоспособности принят максимально допустимый износ пластинки. В результате испытания получены значения наработки до отказа в часах: $t_1=946$, $t_2=832$, $t_3=998$, $t_4=561$, $t_5=763$, $t_6=667$. Определить статистическое значение средней наработки до отказа тормозной пластинки.

ЗАДАЧА 8

Основной причиной поломки масляного насоса является износ эксцентрика. Под наблюдение было поставлено 18 насосов, и в течение 2000 часов были получены следующие наработки до отказа эксцентриков в часах: $t_1=1856$, $t_2=1567$, $t_3=1048$, $t_4=1911$, $t_5=1605$, $t_6=1782$, $t_7=1769$, $t_8=1404$. Определить статистическое значение средней наработки до отказа эксцентрика при условии, что отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

ЗАДАЧА 9

При наблюдении за станком получены следующие значения наработки на отказ в часах: $t_1=32,4$, $t_2=29,7$, $t_3=25,5$, $t_4=30,1$, $t_5=16,2$, $t_6=17,8$, $t_7=40,1$, $t_8=2,2$, $t_9=12,9$, $t_{10}=20,2$. Определить статистическое значение средней наработки на отказ станка при условии, что отказы во время испытания устранялись.

ЗАДАЧА 10

При определении уровня надёжности 36 ткацких станков зафиксировано 200 отказов. После первичной обработки статистических данных получен интервальный вариационный ряд:

Δt , час	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
r_j	104	59	16	10	6	5

Определить статистическое значение средней наработки на отказ станка.

ЗАДАЧА 11

В течение 3600 часов за станком велось наблюдение. Период приработки составил $t_{П1} = 720$ часов. В период нормальной эксплуатации зафиксировано 6 отказов. Определить статистическое значение средней наработки на отказ в период нормальной эксплуатации, если поток отказов в этот период является простейшим.

ЗАДАЧА 12

Под наблюдение установлено 3 пневморепарных станка. Наблюдение велось в течение 720 часов. Период приработки составил $t_{П1} = 26$, $t_{П2} = 30$, $t_{П3} = 28$ часов. За период нормальной эксплуатации зафиксированы отказы $r_1=28$, $r_2=19$, $r_3=31$. Определить статистическое значение средней наработки на отказ в период нормальной эксплуатации.

ЗАДАЧА 13

Под наблюдение установлено 20 изделий. За период испытания были получены следующие значения наработки на отказ в часах: 21, 2, 21, 8, 10, 11, 11, 7, 16, 5, 24, 16, 21, 12, 18, 11, 8, 20, 26, 4. Определить статистическое значение 70% - ной наработки изделия до отказа, если отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 1

Задача 1

Под испытание установлено N_0 изделий. За t часов $n(t)$ изделий вышло из строя. А за последующие Δt часов сломалось ещё $n(\Delta t)$ изделий.

Определить:

- вероятность безотказной работы изделий за период времени t и $t + \Delta t$;
- интенсивность отказов за период времени t и в интервале времени Δt .

N_0	t	Δt	$n(t)$	$n(\Delta t)$	
1	500	2000	600	300	40
2	54	800	100	28	16
3	60	3000	200	20	24
4	180	240	24	162	4
5	200	120	24	0	2
6	700	1000	100	46	24
7	72	760	24	68	4
8	100	1000	120	80	16
9	1200	5000	500	876	244
10	50	8	320	0	50
11	1000	3000	1000	80	50
12	10	4000	25	4	2
13	1000	2400	100	430	14
14	36	50	20	2	6
15	36	100	10	18	4
16	20	4000	100	16	4
17	540	1000	24	532	6
18	1000	1000	100	750	60
19	500	1000	300	226	104
20	45	200	100	5	32

Задача 2

Под испытание установлено N_0 изделий. За t часов зафиксировано $n(t)$ изделий, имевших $r_j(t)$ отказов. За период времени $t+\Delta t$ зафиксировано $n(t+\Delta t)$ изделий, имевших $r_j(t+\Delta t)$ отказов. Определить вероятность безотказной работы и параметр потока отказов изделия за периоды времени t и $t+\Delta t$.

№	N_0	t	Δt	$n(t)$	$n(t+\Delta t)$	$r_j(t)$	$r_j(t+\Delta t)$
1	3	720	300	2	3	$r_1=7, r_2=3$	$r_1=10, r_2=15, r_3=7$
2	6	50	20	2	6	$r_1=3, r_2=5$	$r_1=5, r_2=8, r_3=6, r_4=4, r_5=5, r_6=8$
3	6	72	24	4	6	$r_1=6, r_2=4, r_3=6, r_4=4$	$r_1=7, r_2=7, r_3=7, r_4=8, r_5=3, r_6=4$
4	5	24	8	3	4	$r_1=2, r_2=3, r_3=2$	$r_1=4, r_2=3, r_3=2, r_4=1$
5	10	1440	400	5	10	$r_1=11, r_2=8, r_3=6, r_4=7, r_5=10$	$r_1=19, r_2=18, r_3=12, r_4=10, r_5=15, r_6=5, r_7=13, r_8=17, r_9=6, r_{10}=11$
6	8	420	200	2	6	$r_1=7, r_2=5$	$r_1=8, r_2=9, r_3=4, r_4=11, r_5=9, r_6=7$
7	4	500	100	3	4	$r_1=8, r_2=12, r_3=12$	$r_1=14, r_2=16, r_3=14, r_4=4$
8	15	380	720	0	3		$r_1=3, r_2=1, r_3=2$
9	18	340	20	5	5	$r_1=6, r_2=8, r_3=12, r_4=4, r_5=6$	$r_1=6, r_2=8, r_3=12, r_4=4, r_5=6$
10	24	1200	72	6	12	$r_1=5, r_2=6, r_3=5, r_4=3, r_5=4, r_6=4$	$r_1=6, r_2=7, r_3=7, r_4=5, r_5=4, r_6=8, r_7=1, r_8=3, r_9=2, r_{10}=2, r_{11}=3, r_{12}=4$
11	20	800	50	4	6	$r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=2$	$r_1=2, r_2=4, r_3=4, r_4=3, r_5=2, r_6=3$
12	10	40	240	2	10	$r_1=2, r_2=4$	$r_1=10, r_2=11, r_3=14, r_4=8, r_5=15, r_6=13, r_7=12, r_8=10, r_9=6, r_{10}=17$
13	8	420	200	2	8	$r_1=7, r_2=5$	$r_1=8, r_2=9, r_3=4, r_4=11, r_5=9, r_6=7, r_7=11, r_8=10$
14	12	660	240	8	10	$r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=2, r_5=1, r_6=3, r_7=4, r_8=2$	$r_1=2, r_2=5, r_3=4, r_4=4, r_5=6, r_6=5, r_7=5, r_8=3, r_9=6, r_{10}=2$
15	5	720	72	4	5	$r_1=18, r_2=15, r_3=21, r_4=12$	$r_1=19, r_2=18, r_3=22, r_4=16, r_5=4$
16	6	800	200	4	6	$r_1=4, r_2=4, r_3=3, r_4=5$	$r_1=6, r_2=5, r_3=7, r_4=8, r_5=2, r_6=4$
17	6	48	24	2	4	$r_1=2, r_2=3$	$r_1=3, r_2=5, r_3=2, r_4=1$
18	3	720	48	3	3	$r_1=24, r_2=44, r_3=23$	$r_1=26, r_2=48, r_3=27$
19	56	240	16	5	7	$r_1=5, r_2=4, r_3=6, r_4=3, r_5=4$	$r_1=5, r_2=4, r_3=7, r_4=3, r_5=4, r_6=2, r_7=1$
20	28	240	24	6	8	$r_1=1, r_2=3, r_3=2, r_4=1, r_5=4, r_6=2$	$r_1=1, r_2=3, r_3=3, r_4=2, r_5=4, r_6=2, r_7=1, r_8=1$

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 2

Задача 1

Под испытание установлено N_0 изделий. В процессе испытаний получены статистические данные по наработке до отказа t_{Pi} . Определить статистическое значение средней наработки до отказа при условии, что испытание велось до отказа всех N_0 изделий, а отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

№	N_0	t_{Pi}													
1	12	49	43	50	12	101	24	14	21	85	22	32	28		
2	8	429	298	196	645	995	178	203	638						
3	14	13	51	31	11	18	68	48	51	37	11	30	26	23	27
4	11	44,4	95,3	48,9	77,2	93,7	86,2	87,4	94,0	66,5	63,5	67,2			
5	10	20,0	20,4	12,5	10,9	7,0	6,6	14,1	14,2	10,9	23,0				
6	9	24	42	50	38	60	13	50	22	84					
7	6	312	342	323	412	204	431								
8	9	464	137	323	68	296	288	241	60	531					
9	7	24,5	12,9	25,3	15,6	11,9	14,8	13,7							
10	12	906	513	525	595	881	934	161	769	971	712	631	255		
11	14	72,0	108,3	79,9	135,8	53,5	24,7	252,7	233,8	250,4	26,7	72,6	118,3	79,9	136,8
12	10	23	16	1	34	16	50	22	7	3	39				
13	14	44	69	82	84	77	39	53	64	69	17	87	70	18	85
14	14	1992	1141	1126	1454	1648	1275	1968	2843	1863	1559	1346	1366	1282	2195
15	9	101	113	102	117	140	120	150	106	111					
16	10	596	969	194	537	882	331	350	355	676	341				
17	14	4	3	1	1	10	3	9	4	4	2	3	7	3	5
18	12	17	22	10	25	24	29	17	13	16	19	27	25		
19	8	218	99	138	219	156	213	169	180						
20	12	18,6	18,8	12,4	24,7	21,5	17,7	24,5	15,3	34,0	27,0	14,1	19,5		

Задача 2

Под испытание установлено N_0 изделий. В процессе испытаний получены статистические данные по наработке до отказа t_{Pi} изделий, утративших свою работоспособность. Определить статистическое значение средней наработки до отказа при условии, что испытание велось до окончания длительности испытания t_u , а отказавшие изделия не восстанавливались и не заменялись новыми.

№	N_0	t_u	t_{Pi}													
1	14	600	550	426	389	497	487	474	369	424	103					
2	10	3000	2048	2480	2689	2320	2909	1311	1773	2366						
3	14	24	22	12	14	21	22	16	23	16	11					
4	28	2000	550	426	711	497	1705	1679	1023	474	424	103				
5	12	360	164	257	310	288	348	216	217							
6	15	250	109	192	234	219	31									
7	14	500	137	245	393	472	412	457	218	423	499	481	563			
8	50	1000	543	926	571	881	971	511	181	485	199	508	992	969	983	250
9	12	400	247	306	284	395	236	117	238							
10	10	30	22,1	11,8	13,7	29,8										
11	10	72	66,0	31,0	63,6	44,1	63,6	62,1	40,5	70,8						
12	10	150	148	149	132	93	48									
13	10	100	95	63	95	67	96	57								
14	15	200	125	98	145	177	135	169	151	132						
15	15	8	4,4	6,9	7,7	3,9	5,3	6,4	7,0	1,8	3,5	4,6				
16	15	180	65	54	161	125	98	25	85	177	135	169				
17	40	200	67	55	105	199	159	41	161	79	144	193	199	46		
18	25	1000	288	921	254	568	574	210	851	921	121	606	313	385	717	731
19	15	100	37	26	54	72	55	13	55	56	25	78	50	98		
20	36	100	57	31	34	79	46	25	7	62	18	78	57	56	18	

Задача 3

Под испытание установлено N_0 ремонтируемых изделий. В процессе эксперимента фиксировалась наработка на отказ t_{pij} каждого изделия. Определить статистическое значение средней наработки на отказ изделия, если возникающие отказы устранялись, а вид потока отказов неизвестен.

N_0	t_u	t_{pi}											
1	3	1	33,4	6,8	86,0	48,5	5,4						
		2	30,5	28,5	16,5	13,5	2,9	84,3					
		3	1,1	8,8	0,4	78,2	64,5	27,3	0,7				
2	2	1	40,2	3,1	150,1	9,4	35,9	7,1	6,3	7,9			
		2	28,2	26,5	5,7	5,3	39,4	26,4	2,4	0,3	84,8	64,5	
3	4	1	5,5	3,4	3,0	17,7	6,2	1,0	28,2	10,3			
		2	23,6	0,7	2,3	1,5	13,3	5,8	2,6	34,1	1,3	6,1	
		3	63,2	5,8	1,4	11,6							
		4	21,4	7,2	0,4	7,2	23,5	11,6	13,0				
4	4	1	595	62	840	283	100						
		2	939	214	62	47	655						
		3	438	180	674	63	360	175					
		4	140	438	111	17	108	655	360	66			
5	2	1	0,4	20,4	4,8	8,3	16,7	7,2	9,5	4,8	8,3	4,1	
		2	3,5	19,2	5,2	7,8	3,0	8,5	36,4	9,8			
6	3	1	192	80	142	160	152	208	147	280			
		2	242	99	103	130	53	180	476	77	52		
		3	273	340	245	208	340						
7	5	1	44	69	84	82	77						
		2	140	39	53	64	69						
		3	122	107	141								
		4	15	27	54	24	18	40	32	64	86		
		5	52	63	51	37	54	105					
8	5	1	51	31	61	44	76						
		2	22	40	83	33	85						
		3	3	7	67	80	31	41	23	2			
		4	14	16	41	10	16	34	26	50	55		
		5	63	52	51	37	54						
9	2	1	77	17	76	99	79	118	55				
		2	39	85	94	81	24	26	31	45	34	79	
10	3	1	822	278	121	140	576	317					
		2	350	311	242	454	507	576					
		3	341	212	196	424	404	214	133	204	190		

11	2	1	10	73	33	52	35	34	76	95		
		2	8	26	53	64	93	53	90			
12	3	1	9,9	9,0	2,9	3,7	7,1	3,8	1,3	6,5	6,6	
		2	1,2	7,9	7,0	1,5	6,1	6,4	2,3	5,3	9,1	8,4
		3	6,7	5,7	1,7	0,7	16,8	3,6	9,8	9,9		
13	3	1	98,7	11,8	83,4	88,6	99,5					
		2	1,7	50,5	29,9	54,0	46,7	90,5	80,8	0,8	28,8	
		3	22,1	50,7	13,7	36,7	91,8	94,8	66,7			
14	5	1	31,0	1,0	5,4	57,2	24,0	35,3	34,2	79,9		
		2	85,2	97,7	2,0	68,6						
		3	63,5	33,2	35,0	32,5	70,4	35,7				
		4	53,0	52,9	47,7	35,8	38,3	37,6				
		5	93,5	46,8	79,9	5,3	41,3					
15	2	1	65,4	11,7	74,1	48,6	9,5	58,0	77,6	74,7	3,9	11,5
		2	74,2	82,2	45,2	72,1	40,2	9,9	74,3	20,2		
16	4	1	9,8	3,2	5,4	2,2	8,5	4,6	7,5	8,8	2,9	
		2	9,1	9,1	2,3	4,7	7,7	4,6	2,8	5,4	7,4	
		3	6,3	1,2	4,4	8,0	9,1	6,3	9,7	7,5		
		4	6,5	6,4	6,0	1,4	7,5	5,4	5,3	7,5	9,7	
17	5	1	61	69	46	45	77	82				
		2	66	27	99	59	78	41				
		3	39	48	94	72	73	74				
		4	42	11	13	14	87	16	84	67	7	25
		5	59	84	24	78	43	67	35			
18	3	1	235	424	945	154	611	165				
		2	119	547	455	248	352	632	201			
		3	690	445	728	116	387	162	32			
19	4	1	71,1	52,2	90,4	96,1	94,5					
		2	51,7	44,8	100,4	40,3	50,8	56,6	46,4			
		3	97,5	21,6	15,7	39,5	85,6	29,7	104,8			
		4	64,7	75,4	5,2	70,9	35,2	49,2	99,6			
20	5	1	540	531	226	476	348					
		2	881	934	435	249						
		3	208	168	445	670	779					
		4	334	71	626	561	194	527				
		5	428	600	959	333						

ОТВЕТЫ

ЗАДАЧА 1

$$P^*(t) = 0,89 \quad Q^*(t) = 0,11$$

ЗАДАЧА 2

$$\lambda^*(t) = 2,39 \cdot 10^{-4}$$

ЗАДАЧА 3

$$P_1 = 0,9796; P_2 = 0,894; P_3 = 0,774; P_4 = 0,50; P_5 = 0,244; P_6 = 0,1296; \\ P_7 = 0,037; P_8 = 0$$

$$\lambda_1 = 1,37 \cdot 10^{-5}; \lambda_2 = 6,06 \cdot 10^{-5}; \lambda_3 = 9,62 \cdot 10^{-5}; \lambda_4 = 28,21 \cdot 10^{-5}; \lambda_5 = 46,2 \cdot 10^{-5}; \\ \lambda_6 = 40,92 \cdot 10^{-5}; \lambda_7 = 74,07 \cdot 10^{-5}; \lambda_8 = 133,33 \cdot 10^{-5}$$

ЗАДАЧА 4

$$P_1 = 0,92; Q_1 = 0,08; P_2 = 0,87; Q_2 = 0,13; f^*(t) = 5 \cdot 10^{-5}; \lambda^*(t) \approx 5,6 \cdot 10^{-5}$$

ЗАДАЧА 5

$$\omega(t) = 17,8 \cdot 10^{-3}$$

ЗАДАЧА 6

$$\omega(t) = 38,9 \cdot 10^{-3}$$

ЗАДАЧА 7

$$T_{cp}^* = 794,5 \text{ ч}$$

ЗАДАЧА 8

$$T_{cp}^* = 1830,1 \text{ ч}$$

ЗАДАЧА 9

$$T_O^* = 22,7 \text{ ч}$$

ЗАДАЧА 10

$$T_O^* = 26,1 \text{ ч}$$

ЗАДАЧА 11

$$T_O^* = 480 \text{ ч}$$

ЗАДАЧА 12

$$T_O^* = 27,91 \text{ ч}$$

ЗАДАЧА 13

$$T\gamma = 8 \text{ ч}$$