

## Введение

Контрольная работа по дисциплине «Надежность транспортного радиооборудования» предназначена для закрепления теоретических знаний по дисциплине, получения навыков расчета показателей надежности радиооборудования и навыков обработки статистических материалов с целью определения точечных и интервальных оценок показателей надежности и определения основных вероятностных законов поведения в смысле надежности её объектов.

Контрольная работа включает четыре задачи, которые соответствуют следующим разделам и темам учебной программы дисциплины:

1. Задача № 1. Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов надежности.
2. Задача № 2. Показатели ремонтпригодности (восстанавливаемости) и долговечности.
3. Задача № 3. Резервирование транспортного радиооборудования.
4. Задача № 4. Обработка статистических данных с целью определения закона распределения вероятностей и доверительного интервала.

Контрольная работа оформляется написанием от руки на бумаге формата А4. Плановая трудоемкость контрольной работы - 15 часов самостоятельной работы.

Вариант контрольной работы студента соответствует ПОСЛЕДНЕЙ ЦИФРЕ НОМЕРА зачетной книжки, цифра 0 соответствует десятому варианту.

### 1. Задача №1

#### **Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов надежности.**

Наработка до отказа невосстанавливаемого объекта надежности (ОН) подчиняется усеченному нормальному закону распределения вероятностей с параметрами:

- 1) математическое ожидание  $m_t$ , час;
- 2) средне-квадратическое отклонение  $\sigma_t$ , час.

#### 1.1. Исходные данные :

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_{t1}$ , тыс. часов	4	3	6	4	5	4,5	6	4	5	5,5
$m_{t2}$ , тыс. часов	7	5	8	6	8	7,5	7	8	7	8
$\sigma_t$ , тыс. часов	3	2,5	4	3,5	4	3	4	3	2,5	3

#### 1.2. Содержание задачи:

- 1) рассчитайте коэффициенты усечения для двух значений математического ожидания;
- 2) определите среднюю наработку до отказа и среднеквадратическое отклонение (с.к.о) усеченного распределения;

3) рассчитайте и постройте графики функции надежности и вероятности отказа для двух значений математического ожидания; результаты расчетов сведите в таблицу 1.1;

4) рассчитайте и постройте графики функций плотности распределения вероятностной усеченного нормального распределения ; результаты расчетов сведите в таблицу. 1.2;

5) определите количество отказавших изделий ОН в интервале наработки (0,t) и в интервале наработки (t,t+Δ t) при объеме ОН, равном 10 тыс. изделий.

### Методические указания

1. При расчете коэффициентов усечения используйте формулу (3.36) учебного пособия [2, стр.36]. Сначала напишите расчетную формулу, после знака равенства подставьте значения входящих в неё величин в системе СИ и затем после знака равенства полученное значение. Пример :

$m_t = 3,5 \text{ тыс. часов}, \sigma_t = 1,5 \text{ тыс. часов},$

$$C_0 = \frac{1}{0,5 + \Phi\left(\frac{m_t}{\sigma_t}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi\left(\frac{3,5 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^3}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi(2,33)} = \frac{1}{0,5 + 0,49} = 1,01$$

Значение нормированной функции Лапласа  $\Phi(2,33)$  определите из соответствующей таблицы – Приложение П1 в конце пособия по выполнению контрольной работы.

2. Для расчета средней наработки до отказа используйте формулу (3.47) учебного пособия [2, стр. 4], для расчета с.к.о формулу (3.49) на странице 42. Эти расчеты просты и не вызывают затруднений, т.к. используется школьная алгебра. После расчетов внимательно разберитесь, почему средняя наработка до отказа усеченного распределения больше  $m_t$ , а с.к.о усеченного распределения меньше, чем у классического (неусеченного). Об этом будем разговаривать на защите контрольной работы.

3. Для расчета функции надежности и вероятности отказа используйте формулы (3.40) и (3.41) [2, стр. 37]. Порядок расчетов таков: в контрольной работе приводите расчет только одной точки функции надежности и вероятности отказа для одного значения  $m_t$ . Например,  $m_t = 3,5 \text{ тыс. часов}, \sigma_t = 1,5 \text{ тыс. часов},$  наработки в интервале (0,2 тыс. часов):

$$P_t = C_0 \left( 0,5 + \Phi \frac{m_t - t}{\sigma_t} \right) = 1,01 \left( 0,5 + \Phi \left( \frac{3,5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^3} \right) \right) = 1,01 \left( 0,5 + \Phi(1) \right) = 1,01 \left( 0,5 + 0,3413 \right) = 0,8497 \approx 0,85.$$

$$q_t = 1 - p_t = 0,15028 \approx 0,15.$$

Остальные расчеты в контрольной не проводите и сводите в табл. 1.1. для двух значений  $m_t$ . Диапазон изменения наработки: от 0 час до значения, когда функция надежности станет равной или меньше 0,1. Помните, что  $p(0)=1$ . Не забывайте указывать размерность наработки (в часах), шаг изменения наработки 500 часов или 1000 часов.

4. Для расчета функции плотности распределения вероятностей усеченного нормального распределения используйте формулу(3.37) [2, стр. 37]

Очевидно, что первый множитель в этой формуле есть коэффициент усечения  $C_0$ , который уже был рассчитан ранее.

Порядок расчета такой же, как в п.3: приводите расчет одной точки для произвольно выбранной наработки, приводите размерность: 1/час. Остальные расчеты в контрольной работе не приводите, а сводите в табл. 1.2 для двух значений  $m_t$ . Диапазон изменения наработки - как в п.3.

Обратите внимание на высоту (максимум) и «ширину» графиков функций - последнее – на уровне 0,606 от максимума. Не забывайте указывать размерность плотности – в таблицах и на графиках: 1/час.

Пример расчета :  $m_t = 3,5$  тыс. час,  $\sigma_t = 1,5$  тыс. часов, наработка 2 тыс. часов.

$$f_t = \frac{C_0}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t-m_t^2}{2\sigma_t^2}} = \frac{1,01}{1,5 \cdot 10^3 \cdot 2,5} \cdot e^{-\frac{2 \cdot 10^3 - 3,5 \cdot 10^3 \cdot 2}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 2}} = 0,272 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,5}$$

$$= 0,165 \cdot 10^{-3} = 16,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/час}$$

5. Для определения числа отказавших изделий ОН в диапазоне  $(0, t)$   $n(t)$  преобразуйте формулу 2.30 [2, стр. 21] для величины  $n(t)$ . Взяв наработку  $t$  произвольно, зная, что  $N=10$  тыс. изделий, легко найти  $n(t)$ , используя величины  $p(t)$  из табл. 1.1 для двух значений  $m_t$ .

Для определения числа отказавших изделий в интервале  $t, t + \Delta t$   $\Delta n(t, t + \Delta t)$  используйте формулу:

$$f_t = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N \cdot \Delta t}$$

Значение  $f(t)$  возьмите из таблицы 1.2 или графика  $f(t)$ , задаваясь значением наработки  $t$ , порядка  $0,5 \dots 0,7 m_t$ . Самое основное – интервал  $\Delta t$  должен быть таким, в котором функция  $f(t)$  изменяется не более 10...15%

## 2. Задача №2

### Показатели ремонтпригодности и долговечности.

#### 2.1. Показатели ремонтпригодности (восстанавливаемости).

Случайное время восстановления подчиняется показательному закону распределения вероятностей с параметром – интенсивность восстановления  $\mu_6$

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mu_{61}, 1/\text{час}$	0,25	0,15	0,2	0,3	0,5	0,12	0,16	0,18	0,14	0,22
$\mu_{62}, 1/\text{час}$	0,075	0,05	0,01	0,03	0,06	0,02	0,04	0,065	0,04	0,012

#### 2.1.2. Содержание задачи

1) рассчитайте функции вероятности восстановления для двух значений интенсивности восстановления и постройте графики этих функций.

2) рассчитайте значения среднего времени восстановления для двух значений интенсивности восстановления.

3) определите число восстановленных изделий в интервалах  $(0, t)$  и  $(t, t + \Delta t)$  для большего значения интенсивности.

### Методические указания

1) Значения вероятности восстановления  $P_B(t)$  рассчитайте по формуле (3.3) учебного пособия [3, стр. 15]. В контрольной работе приведите расчет одной точки для каждого значения интенсивности восстановления, произвольно взяв величину аргумента функции- времени восстановления. Затем результаты расчетов сведите в таблицу

2.1. Диапазон изменения времени восстановления определяется значениями интенсивности восстановления, т.е. с нуля часов до значения времени восстановления, когда  $P_B(t)$  станет равной примерно  $P_B(t) \cong 0,95$

2) Среднее время восстановления находится по формуле (3.6), стр.17 для двух значений интенсивности восстановления.

3) Число восстановленных изделий в интервале  $(0,t)$  найдите по формуле (2.4), стр.8, взяв произвольную величину времени восстановления и значение вероятности восстановления из табл. 2.1 для большего значения интенсивности.

Число восстановленных изделий в интервале  $t, t + \Delta t$  определите по формуле:

$$\Delta n_{t, t + \Delta t} = \mu_B \cdot e^{-\mu_B t} \cdot N \cdot \Delta t,$$

где  $\mu_B$  - меньше заданных значений интенсивности,  $N = 10^3$  штук,  $\Delta t = 2 - 3$  часа. В этом случае функция плотности распределения вероятностей случайного времени восстановления в заданном интервале изменяется незначительно.

### 2.2. Показатели долговечности

Случайный индивидуальный ресурс подчиняется показательному распределению вероятностей с параметром – интенсивностью перехода в предельное состояние  $\lambda_p$

2.2.1. Исходные данные:

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_p, 10^{-3} \text{ 1/час}$	0,06	0,12	0,08	0,045	0,025	0,035	0,075	0,06	0,077	0,04
$\gamma\%$	40	70	60	80	10	25	30	55	65	20
$\gamma_n$	0,7	0,8	0,82	0,75	0,77	0,88	0,9	0,85	0,74	0,7

### 2.2.2. Содержание задачи

1) Рассчитайте функцию - вероятность недостижения предельного состояния и постройте график функции.

2) Рассчитайте средний ресурс, гамма – процентный и назначенный ресурсы.

### Методические указания

1) Функцию вероятности недостижения предельного состояния в случае показательного распределения вероятностей ресурса рассчитайте, используя формулу (11.2) учебного пособия [3, стр.41]. Как выше было указано, делаете

расчет одной точки для произвольно взятой величины наработки, результаты расчетов сведите в табл. 2.2.

Диапазон изменения наработки – от 0 часов до значения наработки, когда рассчитываемая функция падает до величины примерно 0,1 ... 0,05

2) Средний, гамма-процентный и назначенный ресурсы находите по формулам соответственно (11.4) [3, стр. 42], (11.5), (11.6) [3, стр. 43].

### 3. Задача №3

#### Резервирование невосстанавливаемых объектов надежности

В задаче рассматривается структурное резервирование – введение избыточности в структуру изделия с целью повышения надежности, кратность резервирования  $k=1/1$ , т.е. используется дублирование. Восстановление отказавших изделий или из частей не используется. Распределение вероятностей наработки до отказа – показательное.

#### 3.1. Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число элементов изделия, n	5	4	6	7	4	5	6	7	5	6
Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-3}$ , 1/час	0,2	0,4	0,25	0,35	0,5	0,15	0,22	0,37	0,42	0,29

#### 3.2. Содержание задачи

1) Составьте структурную схему надежности нерезервированной системы – множества нерезервированных изделий. Определите функцию надежности такой системы и среднюю наработку до отказа.

2) Составьте структурную схему надежности для постоянного общего резервирования, определите показатели надежности, как в п. 1.

3) Составьте структурную схему надежности для постоянного раздельного резервирования, определите показатели надежности, как в п. 1.

4) Составьте структурную схему надежности для ненагруженного резервирования замещением, определите, как в п. 1, функцию надежности резервированной системы и среднюю наработку до отказа.

#### Методические указания

1) Структурная схема надежности нерезервированной системы строится согласно рис. 7.1 учебного пособия [4, стр. 53]. Функция надежности для последовательного соединения элементов (частей) изделия находится, как изложено на стр. 54 учебного пособия [4].

В результате расчетов определяются значения  $P_c(t)$ , которые сводятся в табл. 3.1, и величина средней наработки до отказа  $T_{oc}$ . Диапазон аргумента – наработки: от 0 час. до значения, когда функция надежности снизится до 0,1 или более.

2) Структурная схема надежности для общего постоянного резервирования получается из рис. 7.3 [4, стр. 37] с учетом дублирования. Функция надежности для такого резервирования получается из формулы (7.18) [4, стр. 59]. Следует

учесть, что функция надежности обозначается  $P_{\text{общ рс}}(t)$ , величина в формуле (7.18)  $\Lambda_c = n\lambda$ ,  $m=1$  – число резервных систем. Получите окончательную форму функции надежности, в развернутом виде, рассчитайте значения функции и сведите их в табл. 3.2.

Величина средней наработки до отказа легко определяется решением интеграла:

$$T_{\text{общ0}} = \int_0^{\infty} P_{\text{общ рс}} t dt,$$

и подстановкой в решение интеграла заданных величин  $n$  и  $\lambda$ .

3) Структурная схема надежности для отдельного постоянного резервирования получается из рис. 7.4 учебного пособия [4, стр. 60] с учетом дублирования. Функция надежности для такого резервирования получается из формулы (7.22) [4, стр. 61]. В этой формуле  $p(t) = e^{-\lambda t}$  – функция надежности элемента системы (все они равнонадежны),  $m=1$ ,  $n$  и  $\lambda$  – заданы. Получите развернутую форму функции надежности  $P_{\text{разд рс}}(t)$ , для этого проведите кропотливо алгебраические расчеты. Например,  $n=7$ , тогда возведение в седьмую степень делается, как  $(A)^2 \cdot (A)^2 \cdot (A)^3$ , здесь в скобках одинаковые выражения вида  $A = [1 - (1 - e^{-\lambda t})^2]$ . По выражению, полученному алгебраическим расчетом, определяются значения функции надежности, которые сведите в табл. 3.3. Аргумент функции – наработка до отказа растет, пока функция не уменьшится до 0,1 или более.

Развернутое выражение функции  $P_{\text{раздрс}}(t)$  позволяет методом интегрирования получить выражение и величину средней наработки до отказа резервированной системы  $T_{\text{разд0}}$ .

4) Структурная схема надежности для ненагруженного резервирования замещением в задаче № 3 получается из рис. 8.1 учебного пособия [4, стр. 65]. В этой схеме основная и резервные системы выглядят, как в случае постоянного общего резервирования, с добавлением устройства переключения на резерв после отказа основной системы (похожа на лампочку с параллельной ей линией).

Функция надежности такого резервирования – формула (8.3) [4, стр. 65], в которой  $\lambda_0 = n\lambda$ . По этой формуле рассчитайте значения функции, сведите их в таблицу 3.4.

Средняя наработка до отказа – см. формулу (8.4) [4, стр. 65], о величине  $\lambda_0$  говорилось выше.

5) На общем графике постройте функции надежности, рассчитанные в п.п. 1-4, сделайте вывод о приоритетах резервирования. Затем рассчитайте выигрыш по средней наработке до отказа, найденные в п.п. 2-4, относительно отсутствия резервирования, например,  $Z_1 = \frac{T_{\text{общ0}}}{T_{\text{ос}}}$  и т.д.

#### 4. Задача №4

##### Обработка данных при испытаниях на надежность

По результатам испытания на надежность установлен вариационный ряд наработок до отказа в часах.

##### 4.1. Исходные данные

1. 4, 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 24, 26, 27, 29, 30, 35, 36, 42, 45, 46, 49, 53, 56, 61, 65, 71, 72, 74, 82, 86, 91, 95, 104, 109, 114, 125, 136, 144, 156, 169, 198.

2. 6, 10, 21, 31, 41, 44, 56, 57, 61, 65, 68, 70, 72, 75, 77, 81, 84, 85, 91, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 109, 114, 115, 117, 119, 121, 130, 134, 135, 141, 152, 159, 179, 195.

3. 3, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 17, 21, 24, 29, 31, 33, 36, 37, 42, 45, 46, 52, 54, 56, 61, 68, 69, 71, 81, 86, 89, 95, 101, 109, 115, 121, 134, 141, 146, 168, 164, 196.

4. 9, 21, 34, 42, 52, 55, 58, 62, 65, 67, 71, 74, 75, 79, 82, 83, 85, 88, 90, 92, 93, 95, 97, 98, 104, 106, 109, 112, 114, 116, 118, 121, 123, 130, 135, 141, 146, 147, 170, 195.

5. 3, 5, 6, 10, 12, 15, 17, 18, 23, 24, 30, 31, 33, 37, 39, 41, 45, 47, 50, 51, 54, 62, 65, 69, 72, 75, 81, 84, 91, 94, 104, 109, 114, 121, 131, 142, 153, 169, 192, 195.

6. 11, 24, 35, 43, 47, 51, 59, 61, 68, 70, 72, 75, 76, 78, 81, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 95, 97, 99, 104, 106, 110, 114, 115, 118, 121, 126, 131, 134, 142, 145, 154, 161, 172, 195.

7. 3, 4, 6, 9, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 23, 25, 27, 30, 34, 37, 41, 43, 46, 48, 53, 56, 61, 70, 71, 75, 77, 84, 86, 91, 95, 109, 114, 118, 121, 135, 145, 154, 170, 195.

8. 8, 21, 31, 41, 44, 54, 55, 61, 64, 68, 71, 74, 77, 78, 82, 83, 85, 86, 87, 90, 92, 95, 96, 97, 101, 112, 115, 117, 118, 123, 125, 127, 130, 136, 145, 148, 159, 168, 175, 194.

9. 5, 6, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 29, 30, 34, 36, 39, 41, 45, 47, 49, 55, 57, 62, 69, 71, 74, 77, 84, 85, 91, 110, 112, 114, 125, 134, 141, 154, 175, 199.

10. 12, 23, 33, 41, 48, 50, 54, 61, 63, 69, 70, 72, 73, 76, 81, 82, 84, 87, 89, 91, 92, 95, 97, 99, 110, 112, 114, 115, 117, 119, 121, 130, 132, 135, 141, 152, 154, 170, 174, 191.

##### 4.2. Содержание работы

1) Постройте гистограмму оценки функции плотности распределения вероятностей  $f_j$ , где  $j$  – номер интервала наработок до отказа, и определите нулевую гипотезу искомой функции распределения вероятностей.

2) Определите закон распределения вероятностей наработок до отказа по критерию «хи-квадрат».

3) Рассчитайте доверительный интервал для средней наработки до отказа согласно определенному выше закону распределения вероятностей и стандартной методике нахождения доверительного интервала.

### Методические указания

1) При выполнении пунктов 1 и 2 содержания задачи используйте нижеприведенную табл. 4.1., которую последовательно заполняйте расчетными данными.

Таблица 4.1

Номер интервала	Границы интервала $t_{j-1} \dots t_j$	$\Delta n_j$	$f_j$ , 1/час	$P_j$	$nP_j$	$\frac{(\Delta n_j - nP_j)^2}{nP_j}$
1	0...20					
2	20...40					
3	40...60					
4	60...80					
5	80...100					
6	100...120					
7	120...140					
8	140...160					
9	160...180					
10	180...200					

Разбейте диапазон наработок задания на десять интервалов по двадцать часов, как показано в табл. 4.1. Для каждого интервала определите  $\Delta n_j$  – число вариант, попадающих в интервал, здесь  $j=1 \dots 10$  – номера интервалов. Затем для каждого интервала рассчитайте оценку функции  $f_j = \frac{\Delta n_j}{n \cdot \Delta t}$  (1/час), где  $n=40$  – объем выборки,  $\Delta t$  – длина интервала.

По данным расчета оценок функции постройте гистограмму  $f_j$  (1/час), используя материал учебного пособия [5, стр. 18-20], рис. 3.2 в качестве примера.

По виду гистограммы выразите нулевую гипотезу - закон распределения вероятностей такой-то (показательный либо нормальный и т.д.).

2) С целью доказательства нулевой гипотезы для каждого интервала рассчитайте теоретическую вероятность попадания вариант в интервал  $P_j$ , а это согласно теории для заданного закона распределения вероятностей есть процент вариант, которые могут попасть в этот интервал. Так, если  $P_j=0,21$ , это означает, что по теории 21% вариант могут попасть в интервал.

Для расчета  $P_j$  используйте формулы (10.17) [5, стр. 18-20], для показательного закона и (10.20) для нормального закона. Полученные результаты занесите в табл. 4.1.

Далее для каждого интервала найдите произведение  $nP_{j+}$  - это количество вариант (не процент), которые по теории могут попасть в заданный интервал.



В заключение для каждого интервала находите меру расхождения между опытными  $\Delta n_j$  и теоретическими значениями  $nP_j$  по формуле, показанной в последнем столбце табл. 4.1.

Для подтверждения нулевой гипотезы найдите наблюдаемую меру расхождения  $U_{\text{набл}}$  в виде суммы мер расхождения всех интервалов и сравните ее с критической мерой расхождения  $U_{\text{кр}}(k-1, j)$ , которая находится по таблице приложения П2 как квантиль распределения «хи-квадрат» (этому распределению подчиняется суммарное значение  $U_{\text{набл}}$ ). Критическое значение меры расхождения определяется, зная число степеней свободы  $(k-1)$  и выбранного значения доверительной вероятности  $\gamma=0,9\dots 0,99$ .

Нулевая гипотеза принимается, если  $U_{\text{набл}} < U_{\text{кр}}$ .

3) Доверительный интервал, в котором с доверительной вероятностью может находиться истинное значение средней наработки до отказа, определяется при малом объеме выборки, например  $n=40$ , как в контрольном расчете.

В случае показательного распределения вероятностей доверительный интервал определяется по формуле (8.7) учебного пособия [5, стр. 63]. В этой формуле в числителе – суммарная наработка (сумма вариант задания), а знаменатель – квантили распределения «хи- квадрат», которые находим по таблицу приложения П2 с учетом доверительной вероятности  $\gamma=0,9\dots 0,99$  (естественно, с учетом арифметических преобразований по формуле (8.7) вышеназванного пособия) и число степеней свободы, равного  $2r=2n=80$ .

В случае нормального распределения доверительный интервал находим по формуле (9.14) учебного пособия [5, стр. 70]. В ней используются значения  $T_0$  и  $\sigma_t = \overline{D_v[T]}$ , определяемых по формулам (4.16) и (4.17) учебного пособия [5, стр. 28.]

В формуле (9.14) используется также значение обратной нормированной функции Лапласа  $\Phi^{-1}(\gamma/2)$ , нам известна величина функции  $(\gamma/2)$ , а по таблице приложения П1 нужно найти значение ее аргумента.

## 5. Рекомендуемая литература

### 5.1. Основная

1. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования. - М.:РИО МГТУГА, 2010.

### 5.2. Дополнительная

2. Бабаев В.Г., Емельянов В.Е. Показатели безотказности авиационного радиоэлектронного оборудования. - М.: РИО МГТУГА, 1995.

3. Бабаев В.Г. Показатели ремонтпригодности и долговечности авиационного РЭО. - М.: РИО МГТУГА, 1996.

4. Бабаев В.Г. Комплексные показатели надежности и резервирование авиационного РЭО. - М.: РИО МГТУГА, 1997.

5. Бабаев В.Г. Испытание на надежность. - М.: РИО МГТУГА, 1998.

Нормированная функция Лапласа  $\Phi(X)$ 

X	Сотые доли X									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0278	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1440	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2703	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2955	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,238	0,3264	0,3298	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3437	0,3461	0,3485	0,3508	0,3538	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4565	0,4573	0,4580	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4623
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4432	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,857
2,2	0,4860	0,4864	0,4867	0,4871	0,4874	0,4877	0,4880	0,4883	0,4886	0,4889
	0,4966	0,4474	0,4906	0,4263	0,4545	0,4555	0,4894	0,4962	0,4962	0,4893
2,3	0,4892	0,4895	0,4898	0,4900	0,4903	0,4906	0,4908	0,4911	0,4913	0,4915
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4924	0,4926	0,4928	0,4930	0,4932	0,4934	0,4936
	0,4025	0,4237	0,4397	0,4406	0,4564	0,4572	0,4531	0,4593	0,4309	0,4128
2,5	0,4937	0,4939	0,4941	0,4942	0,4944	0,4946	0,4947	0,4949	0,4950	0,4952
	0,4903	0,4634	0,4323	0,4969	0,4574	0,4139	0,4664	0,4151	0,4600	0,4012
2,6	0,4953	0,4954	0,4956	0,4957	0,4958	0,4959	0,4960	0,4962	0,4963	0,4964
	0,4388	0,4729	0,4035	0,4308	0,4547	0,4754	0,4930	0,4074	0,4189	0,4274
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4971	0,4972	0,4973
	0,4330	0,4358	0,4359	0,4333	0,4280	0,4202	0,4099	0,4972	0,4821	0,4646
2,8	0,4974	0,4975	0,4975	0,4976	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4980
	0,4449	0,4229	0,4988	0,4726	0,4443	0,4140	0,4818	0,4476	0,4116	0,4738



## Квантили распределения «хи-квадрат»

Число степеней свобод, n	Вероятность p							
	0,001	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,200	0,300
6	0,381	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83
7	0,598	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67
8	0,857	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53
9	1,15	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39
10	1,48	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27
11	1,83	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15
12	2,21	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03
13	2,62	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	8,69	9,93
14	3,04	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8
15	3,48	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7
16	3,94	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6
18	4,90	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	12,0	14,4
20	5,92	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3
22	6,98	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1
24	9,22	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8
26	11,6	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5
30	14,7	17,2	18,5	20,6	22,5	24,8	27,8	30,2
35	17,9	20,7	22,2	24,4	26,5	29,1	32,3	34,9
40	21,3	24,3	25,9	28,4	30,6	33,4	36,9	39,6
45	24,7	28,0	29,7	32,4	34,8	37,7	41,4	44,3
50	28,2	31,7	33,6	36,4	39,0	42,1	46,0	49,1
55	31,7	35,5	37,5	40,5	43,2	46,5	50,6	53,3
65	35,4	39,4	41,1	44,6	47,4	50,9	55,3	58,6
70	39,0	43,0	45,4	48,8	51,7	55,3	59,9	63,3
75	48,8	47,2	49,5	52,9	56,1	59,8	64,5	68,1
80	46,5	51,2	53,5	57,2	60,4	64,3	69,2	72,9
85	50,3	55,2	57,6	61,4	64,7	68,8	73,9	77,7
90	54,2	59,2	61,8	65,6	69,1	73,3	78,6	82,5
95	58,0	63,2	65,9	69,9	73,5	77,8	83,2	87,3
100	61,9	67,3	70,1	74,2	77,9	82,4	87,9	92,1

Число степеней свобод, n	Вероятность p							
	0,700	0,800	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999
6	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,6
12	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5
14	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
18	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
20	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
22	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
24	27,1	29,6	33,2	36,4	39,6	43,0	45,6	51,2
26	29,2	31,8	35,6	38,9	41,5	45,6	48,3	54,1
28	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
30	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7
35	38,9	41,8	46,1	49,9	53,2	57,3	60,3	66,6
40	44,2	47,3	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8	73,4
45	49,5	52,7	57,5	61,7	65,4	70,0	73,2	80,1
50	54,7	58,2	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5	86,7
55	60,0	63,6	68,8	73,3	77,4	82,3	85,7	93,2
60	65,2	69,0	74,4	79,1	83,3	88,4	92,0	99,6
65	70,5	74,4	80,0	84,8	89,3	94,4	98,1	106,0
70	75,7	79,7	85,5	90,5	95,0	100,4	104,2	112,3
75	80,9	85,1	91,1	96,2	100,8	106,4	110,3	118,6
80	86,1	90,4	96,6	101,9	106,6	112,3	116,3	124,8
85	91,3	95,7	102,1	107,5	112,4	118,2	123,3	137,2
90	96,5	101,1	107,6	113,1	118,1	124,1	128,3	137,2
95	101,7	106,4	113,0	118,8	123,9	130,0	134,2	143,3
100	106,9	111,7	118,5	124,3	129,6	135,8	140,2	149,4

## Содержание

Введение .....	3
1. Задача №1 .....	3
2. Задача №2.....	5
3. Задача №3.....	7
4. Задача №4.....	9
5. Рекомендуемая литература.....	11
Приложение П1.....	12
Приложение П2.....	14