

# Серия внутривузовских методических указаний СибАДИ

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»  
Кафедра «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве»

**С.В. Мельник, Л.А. Шапошникова**

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**

*Методические указания к лабораторным и практическим работам*

*2-е изд., derivative*

Омск ■ 2018

УДК 62-192  
ББК 34.414  
М48

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

*Рецензент*

канд. техн. наук, доц. А.С.Байда (СибАДИ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве методических указаний.

**Мельник, Сергей Владимирович.**

**М48 Основы теории надежности** [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным и практическим работам / С.В. Мельник, Л.А. Шапошникова. – (Серия внутривузовских методических указаний СибАДИ). – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – URL: [http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r\\_plus/cgiirbis\\_64\\_ft.exe](http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r_plus/cgiirbis_64_ft.exe). - Режим доступа: для авторизованных пользователей.

Изложена методика выполнения лабораторных и практических работ, порядок их выполнения по дисциплине «Основы теории надежности и диагностика транспортно-технологических машин и комплексов».

Имеют интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначены для обучающихся всех форм бакалавриата по направлениям подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и специалистов по направлению «Наземные транспортно-технологические средства».

Подготовлены на кафедре «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве».

Текстовое (символьное) издание (12 МБ)

Системные требования: Intel, 3,4 GHz; 150 Мб; Windows XP/Vista/7;  
DVD-ROM; 1 Гб свободного места на жестком диске;  
программа для чтения pdf-файлов: Adobe Acrobat Reader; Foxit Reader

Техническая подготовка Н.В. Кенжалинова

Издание 2-е, деривативное. Дата подписания к использованию 06.07.2018  
Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5  
РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2018

## Лабораторная работа № 1

### ОБРАБОТКА ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Целью работы является овладение методикой определения основных показателей надежности элементов, отказы которых согласуются с экспоненциальным законом распределения, по результатам испытаний на надежность или подконтрольной эксплуатации машин.

При определительных испытаниях машин электромагниты переключения золотников гидравлической передачи заменялись по причине сгорания обмотки. За период наблюдения было зафиксировано  $n$  первых замен электромагнитов, при этом фиксировалась наработка до первого отказа (в тыс. моточасов). Получена выборка объемом  $n$ , которая называется полностью определенной, так как в ней известны все значения случайной величины наработки  $T$ . При объеме выборки  $n > 50$  обработку эмпирических данных рекомендуется вести по значениям, сгруппированным в  $k$  равновеликих интервалов.

Таблица 1.1

| Номера вариантов |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 0,75             | 0,77  | 0,79  | 0,81  | 0,83  | 0,85  | 0,87  | 0,89  | 0,92  |
| 9,23             | 9,49  | 9,76  | 10,02 | 10,29 | 10,55 | 10,81 | 11,08 | 11,34 |
| 5,14             | 5,29  | 5,43  | 5,58  | 5,73  | 5,87  | 6,02  | 6,17  | 6,31  |
| 3,07             | 3,16  | 3,24  | 3,33  | 3,42  | 3,51  | 3,59  | 3,68  | 3,77  |
| 10,23            | 10,52 | 10,81 | 11,1  | 11,40 | 11,69 | 11,98 | 12,27 | 12,56 |
| 3,49             | 3,59  | 3,69  | 3,79  | 3,89  | 3,99  | 4,09  | 4,19  | 4,29  |
| 2,25             | 2,31  | 2,38  | 2,44  | 2,51  | 2,57  | 2,64  | 2,70  | 2,76  |
| 4,23             | 4,35  | 4,47  | 4,59  | 4,77  | 4,84  | 4,96  | 5,08  | 5,2   |
| 6,66             | 6,87  | 7,06  | 7,25  | 7,44  | 7,63  | 7,82  | 8,01  | 8,2   |
| 7,16             | 7,36  | 7,57  | 7,77  | 7,98  | 8,18  | 8,38  | 8,59  | 8,79  |
| 1,89             | 1,94  | 2,0   | 2,05  | 2,11  | 2,16  | 2,21  | 2,27  | 2,32  |
| 5,48             | 5,59  | 5,74  | 5,99  | 6,05  | 6,21  | 6,36  | 6,52  | 6,67  |

Продолжение табл. 1.1

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 21,13 | 21,73 | 22,34 | 22,94 | 23,54 | 24,14 | 24,75 | 25,35 | 25,95 |
| 8,15  | 8,38  | 8,61  | 8,84  | 9,08  | 9,31  | 9,54  | 9,78  | 10,01 |
| 0,91  | 0,93  | 0,96  | 0,99  | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,11  |
| 1,36  | 1,40  | 1,44  | 1,48  | 1,52  | 1,56  | 1,60  | 1,63  | 1,67  |
| 2,87  | 2,95  | 3,04  | 3,12  | 3,20  | 3,28  | 3,37  | 3,45  | 3,53  |
| 0,48  | 0,49  | 0,50  | 0,52  | 0,53  | 0,54  | 0,56  | 0,57  | 0,58  |
| 4,47  | 4,59  | 4,72  | 4,85  | 4,98  | 5,10  | 5,23  | 5,36  | 5,49  |
| 2,92  | 3,0   | 3,08  | 3,37  | 3,25  | 3,33  | 3,42  | 3,50  | 3,58  |
| 2,27  | 2,33  | 2,40  | 2,16  | 2,53  | 2,60  | 2,66  | 2,72  | 2,79  |
| 4,90  | 5,04  | 5,18  | 5,52  | 5,46  | 5,60  | 5,74  | 5,88  | 6,02  |
| 8,37  | 8,60  | 8,84  | 9,08  | 9,32  | 9,56  | 9,80  | 10,04 | 10,28 |
| 6,72  | 6,91  | 7,10  | 7,29  | 7,49  | 7,68  | 7,87  | 8,06  | 8,25  |
| 7,51  | 7,73  | 7,94  | 8,16  | 8,37  | 8,59  | 8,80  | 9,01  | 9,23  |
| 2,91  | 2,99  | 3,07  | 3,16  | 3,24  | 3,32  | 3,40  | 3,49  | 3,57  |
| 13,33 | 13,71 | 14,09 | 14,47 | 14,86 | 15,24 | 15,62 | 16,0  | 16,38 |
| 1,55  | 1,60  | 1,64  | 1,69  | 1,73  | 1,78  | 1,32  | 1,87  | 1,91  |
| 17,42 | 17,92 | 18,42 | 18,92 | 19,41 | 19,91 | 20,41 | 20,91 | 21,41 |
| 2,60  | 2,68  | 2,75  | 2,83  | 2,90  | 2,98  | 3,05  | 3,12  | 3,20  |
| 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,09  | 0,09  | 0,09  | 0,09  | 0,09  |
| 0,33  | 0,40  | 0,41  | 0,43  | 0,44  | 0,45  | 0,46  | 0,47  | 0,48  |
| 5,94  | 6,11  | 6,28  | 6,45  | 6,62  | 6,79  | 6,96  | 7,12  | 7,29  |
| 1,93  | 1,98  | 2,04  | 2,09  | 2,15  | 2,20  | 2,26  | 2,31  | 2,37  |
| 3,05  | 3,13  | 3,22  | 3,31  | 3,40  | 3,48  | 3,57  | 3,66  | 3,74  |
| 2,94  | 3,02  | 3,10  | 3,19  | 3,27  | 3,36  | 3,44  | 3,52  | 3,61  |
| 1,13  | 1,16  | 1,19  | 1,22  | 1,26  | 1,29  | 1,32  | 1,35  | 1,38  |
| 11,23 | 11,55 | 11,87 | 12,19 | 12,52 | 12,84 | 13,16 | 13,48 | 13,8  |
| 9,54  | 9,81  | 10,0  | 10,35 | 10,63 | 10,9  | 11,17 | 11,44 | 11,71 |
| 1,87  | 1,92  | 1,97  | 2,03  | 2,08  | 2,13  | 2,19  | 2,24  | 2,29  |
| 2,59  | 2,67  | 2,74  | 2,82  | 2,89  | 2,96  | 3,04  | 3,11  | 3,19  |
| 2,79  | 2,87  | 2,95  | 3,03  | 3,11  | 3,19  | 3,27  | 3,34  | 3,42  |
| 2,2   | 2,26  | 2,33  | 2,39  | 2,45  | 2,51  | 2,58  | 2,64  | 2,7   |
| 10,0  | 10,28 | 10,57 | 10,85 | 11,14 | 11,42 | 11,71 | 12,0  | 12,28 |
| 0,14  | 0,15  | 0,15  | 0,16  | 0,16  | 0,17  | 0,17  | 0,17  | 0,18  |
| 1,27  | 1,3   | 1,34  | 1,38  | 1,41  | 1,45  | 1,48  | 1,52  | 1,56  |
| 18,3  | 18,83 | 19,35 | 19,87 | 20,39 | 20,92 | 21,44 | 21,96 | 22,49 |
| 7,67  | 7,89  | 8,11  | 8,33  | 8,55  | 8,77  | 8,98  | 9,2   | 9,42  |
| 4,6   | 4,73  | 4,86  | 5,0   | 5,13  | 5,26  | 5,39  | 5,52  | 5,65  |
| 9,18  | 9,44  | 9,7   | 9,97  | 10,23 | 10,49 | 10,75 | 11,0  | 11,28 |
| 3,41  | 3,5   | 3,6   | 3,7   | 3,79  | 3,89  | 3,99  | 4,09  | 4,18  |
| 4,47  | 4,6   | 4,72  | 4,85  | 4,98  | 5,11  | 5,23  | 5,36  | 5,49  |
| 7,0   | 7,04  | 7,23  | 7,43  | 7,63  | 7,82  | 8,02  | 8,21  | 8,41  |

Окончание табл. 1.1

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 13,44 | 14,05 | 14,44 | 14,83 | 15,22 | 15,61 | 16,0  | 16,39 | 16,78 |
| 7,07  | 7,27  | 7,47  | 7,67  | 7,06  | 8,08  | 8,28  | 8,48  | 8,68  |
| 2,83  | 2,91  | 2,99  | 2,80  | 2,81  | 2,8   | 3,31  | 3,39  | 3,47  |
| 8,02  | 8,11  | 8,19  | 8,28  | 8,37  | 8,45  | 8,54  | 8,63  | 8,71  |
| 2,76  | 2,83  | 2,91  | 2,99  | 3,07  | 3,15  | 3,28  | 3,31  | 3,38  |
| 8,54  | 8,78  | 9,03  | 9,27  | 9,52  | 9,76  | 10,0  | 10,25 | 10,49 |
| 16,51 | 16,99 | 17,46 | 17,93 | 18,40 | 18,87 | 19,35 | 19,82 | 20,2  |

Требуется найти оценки параметров закона распределения ресурса методом моментов, определить доверительные границы для параметров закона распределения, вычислить оценки показателей надежности: среднего ресурса; вероятности безотказной работы за наработку  $t = 5$  тыс. мото-ч, гамма-процентного ресурса при  $\gamma = 80$  %. Построить характеристики надежности [1,4].

### ***Последовательность выполнения работы***

1. Выявить наибольшее  $t_{max} = t_n$  и наименьшее  $t_{min} = t_l$  значения выборки. Вычислить приближенное количество интервалов группирования по формуле

$$k = 5 \log n. \quad (1.1)$$

Полученное значение следует округлить в меньшую сторону.

2. Рассчитать ширину (длину) интервалов группирования

$$\Delta t = \frac{t_{max} - t_{min}}{k}. \quad (1.2)$$

3. Оформить табл. 1.2 и с ее помощью подсчитать частоты и частоты попадания случайной величины в интервалы группирования.

Таблица 1.2

| Номер<br>интервала<br>$j$ | Границы<br>интервалов<br>$t_j, t_{j+1}$ | Средина<br>интервала<br>$\bar{t}_j$ | Встречаемость частот $m_j$ |             | Частость<br>$\frac{m_j}{n}$ |
|---------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------------|
|                           |                                         |                                     | В условных<br>обозначениях | В<br>цифрах |                             |
| 1                         | 2                                       | 3                                   | 4                          | 5           | 6                           |

4. Составить табл. 1.3 для вычисления значений эмпирической функции и плотности распределения. Предварительно значения, полученные в графах 1, 3, 5 табл. 1.2, перенести в графы 1,2,3 табл. 1.3.

Таблица 1.3

| $j$ | $\bar{t}_j$ | $m_j$ | $\bar{t}_j m_j$ | $\lambda \bar{t}_j$ | $e^{-\lambda \bar{t}_j}$ | $f_s(t)$ | $f(t)$ | $F_s(t)$ | $F(t)$ |
|-----|-------------|-------|-----------------|---------------------|--------------------------|----------|--------|----------|--------|
| 1   | 2           | 3     | 4               | 5                   | 6                        | 7        | 8      | 9        | 10     |

5. По формуле (1.3) вычислить значения эмпирической функции распределения, полученные значения записать в графу 9 табл. 1.3

$$F_s(t) = \frac{\sum_{j=1}^k m_j}{n}. \quad (1.3)$$

Вычислить значения эмпирической плотности распределения вероятностей по формуле

$$f_s(t) = \frac{m_j}{n \Delta t}. \quad (1.4)$$

Полученные значения вписать в графу 7 табл. 1.3.

6. По найденным значениям эмпирической плотности распределения построить гистограмму. Гистограммой относительных частот называют ступенчатую фигуру, состоящую из прямоугольников, основаниями которых служат частичные интервалы, а высоты равны эмпирической плотности. Таким образом, площадь частичного прямоугольника равна относительной частоте значений, попавших в данный интервал, а площадь всей гистограммы - единице.

По форме гистограммы выдвинуть гипотезу о виде закона распределения.

7. Определить оценки параметров закона распределения. Для этого рассчитать графу 4 табл. 1.3, а затем вычислить оценку математического ожидания средней наработки до отказа

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \bar{t}_j m_j. \quad (1.5)$$

Рассчитать оценку параметра  $\lambda$  экспоненциального распределения

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}} \quad . \quad (1.6)$$

8. Определить теоретическую функцию и плотность экспоненциального распределения. Для этого выполнить расчет граф 5 и 6 табл. 1.3, а затем вычислить значения теоретической функции расположения по формуле

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \bar{t}_j} \quad (1.7)$$

Полученные значения записать в графу 10 табл. 1.3.  
Рассчитать значения теоретической плотности экспоненциального распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda \bar{t}_j} \quad (1.8)$$

Полученные значения записать в графу 8 табл. 1.3.  
9. Построить кривую теоретической плотности  $f(t)$  на гистограмме.

10. Определить оценки показателей надежности электромагнита. Оценку среднего ресурса вычислить по формуле (1.5)

$$T_{\text{р.ср.}} = \bar{t} \quad .$$

Определить оценку вероятности безотказной работы для заданной наработки

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{\bar{t}}} \quad (1.9)$$

Рассчитать оценку гамма - процентного ресурса при заданном значении  $\gamma$

$$T_{\gamma} = \frac{1}{\lambda} (-\ln \frac{\gamma}{100}) \quad (1.10)$$

11. Построить графические характеристики надежности электромагнита (рис. 1.1).

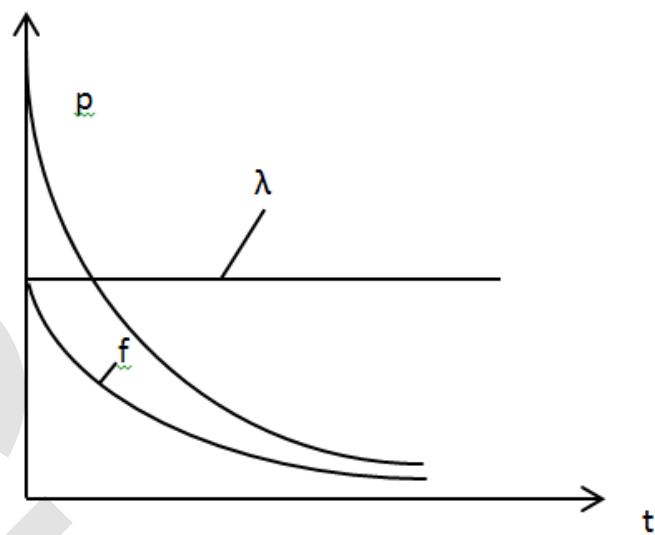


Рис. 1.1 Зависимости  $P(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  экспоненциального распределения

### ***Контрольные вопросы***

1. Сколько параметров имеет экспоненциальное распределение?
2. Чему равен коэффициент вариации экспоненциального распределения?
3. Какие отказы машин согласуются с экспоненциальным распределением?
4. Как получают эмпирические данные для расчета надежности?

## Лабораторная работа № 2

### ОБРАБОТКА ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ НОРМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Целью работы является овладение методикой определения основных показателей надежности элементов, отказы которых согласуются с нормальным законом распределения, по результатам испытаний на надежность или подконтрольной эксплуатации машин.

Разжимные кулаки тормозов машин заменялись в эксплуатации при превышении допустимого износа рабочих поверхностей и мест сопряжений с втулками кронштейнов. В процессе наблюдений было зафиксировано  $n$  первых замен разжимных кулаков. Требуется найти оценки параметров закона распределения ресурса, вычислить оценки показателей надежности: среднего ресурса; вероятности безотказной работы за наработку  $t = 100$  тыс. км; интенсивности отказов за ту же наработку; гамма-процентного ресурса при  $\gamma = 90$  %. Построить характеристики надежности разжимного кулака. Варианты исходных данных для расчетов приведены в табл. 2.1[1,4,5].

Таблица 2.1

| Номера вариантов |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 251,7            | 235,8 | 238,4 | 241,1 | 243,7 | 246,4 | 249,0 | 254,3 | 257,0 |
| 201,4            | 188,7 | 190,9 | 193,0 | 195,1 | 197,2 | 199,3 | 203,6 | 205,7 |
| 192,9            | 180,7 | 182,7 | 184,7 | 186,8 | 188,8 | 190,8 | 194,9 | 196,2 |
| 70,0             | 65,6  | 66,8  | 67,1  | 67,8  | 68,5  | 69,3  | 70,8  | 71,5  |
| 198,9            | 186,3 | 188,4 | 190,5 | 192,6 | 194,7 | 196,8 | 201,0 | 203,1 |
| 223,8            | 209,7 | 212,0 | 214,4 | 216,8 | 219,1 | 221,5 | 226,2 | 228,5 |
| 241,8            | 226,5 | 229,1 | 231,6 | 234,1 | 236,7 | 239,2 | 244,3 | 246,9 |
| 160,0            | 149,9 | 151,6 | 153,3 | 155,0 | 156,7 | 158,3 | 161,7 | 163,4 |
| 118,7            | 111,2 | 112,5 | 113,7 | 115,0 | 116,2 | 117,4 | 120,0 | 121,2 |
| 166,8            | 156,3 | 158,0 | 159,8 | 161,6 | 163,3 | 165,1 | 168,6 | 170,3 |
| 182,3            | 170,8 | 172,7 | 174,6 | 176,5 | 178,5 | 180,4 | 184,2 | 186,1 |
| 183,5            | 171,9 | 173,9 | 175,8 | 177,7 | 179,7 | 181,6 | 185,5 | 187,4 |
| 239,1            | 224,0 | 226,5 | 229,0 | 231,5 | 234,0 | 236,6 | 241,6 | 244,1 |

Продолжение табл. 2.1

|       |       |       |       |       |       |        |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 199,6 | 187,0 | 189,1 | 191,2 | 193,3 | 195,4 | 197,5  | 201,7 | 203,8 |
| 211,3 | 197,9 | 200,2 | 202,4 | 204,6 | 206,8 | 209,1  | 213,5 | 215,7 |
| 225,5 | 211,3 | 213,7 | 216,0 | 218,4 | 220,8 | 223,2  | 227,9 | 230,3 |
| 157,2 | 147,3 | 148,9 | 150,6 | 152,3 | 153,9 | 155,6  | 158,9 | 160,5 |
| 225,9 | 211,6 | 214,0 | 216,4 | 218,8 | 221,2 | 223,5  | 228,3 | 230,7 |
| 113,1 | 106,0 | 107,2 | 108,4 | 109,6 | 110,8 | 112,0  | 114,3 | 115,5 |
| 173,6 | 162,6 | 164,5 | 166,3 | 168,1 | 170,0 | 171,8  | 175,4 | 177,3 |
| 165,7 | 155,8 | 157,0 | 158,7 | 160,5 | 162,2 | 164,0  | 167,5 | 169,2 |
| 92,6  | 86,7  | 87,7  | 88,7  | 89,7  | 90,6  | 91,6   | 93,6  | 94,5  |
| 168,3 | 157,7 | 159,4 | 161,2 | 163,0 | 164,7 | 166,5  | 170,1 | 171,8 |
| 179,6 | 168,3 | 170,2 | 172,1 | 174,0 | 175,9 | 177,8  | 181,5 | 183,4 |
| 255,2 | 239,1 | 241,7 | 244,4 | 247,1 | 249,8 | 252,5  | 257,9 | 260,5 |
| 200,7 | 188,0 | 190,1 | 192,2 | 194,4 | 196,5 | 198,6  | 202,8 | 204,9 |
| 208,0 | 194,8 | 197,0 | 199,2 | 201,4 | 203,6 | 205,8  | 210,1 | 212,3 |
| 226,1 | 211,9 | 214,2 | 216,6 | 219,1 | 221,4 | 223,8  | 228,5 | 230,9 |
| 198,6 | 186,1 | 188,2 | 190,2 | 192,3 | 194,4 | 196,5  | 200,7 | 202,8 |
| 155,0 | 145,2 | 146,9 | 148,5 | 150,1 | 151,8 | 153,4  | 156,7 | 158,3 |
| 235,6 | 220,7 | 223,2 | 225,7 | 228,2 | 230,6 | 233,14 | 238,1 | 240,6 |
| 117,3 | 109,9 | 111,1 | 112,4 | 113,6 | 114,9 | 116,1  | 118,6 | 119,8 |
| 167,1 | 156,5 | 158,8 | 160,1 | 161,8 | 163,6 | 165,3  | 168,9 | 170,6 |
| 269,7 | 252,7 | 255,5 | 258,3 | 261,2 | 264,0 | 266,9  | 272,5 | 275,4 |
| 187,3 | 175,5 | 177,4 | 179,4 | 181,4 | 183,3 | 185,3  | 189,3 | 191,2 |
| 131,6 | 123,3 | 124,7 | 126,1 | 127,5 | 128,9 | 130,2  | 133,0 | 134,4 |
| 166,9 | 156,4 | 158,1 | 159,9 | 161,6 | 163,4 | 165,2  | 168,7 | 170,4 |
| 230,7 | 216,1 | 218,5 | 220,9 | 223,4 | 225,8 | 228,2  | 233,1 | 235,5 |
| 166,7 | 156,1 | 157,9 | 159,7 | 161,4 | 163,2 | 164,9  | 168,4 | 170,2 |
| 95,8  | 89,8  | 90,8  | 91,8  | 92,8  | 93,8  | 94,8   | 96,8  | 97,8  |
| 124,6 | 116,8 | 118,1 | 119,4 | 120,7 | 122,0 | 123,3  | 125,9 | 127,3 |
| 182,9 | 171,3 | 173,2 | 188,8 | 177,1 | 179,0 | 180,9  | 184,8 | 186,7 |
| 254,4 | 238,3 | 241,0 | 243,7 | 246,4 | 249,1 | 251,7  | 257,1 | 259,8 |
| 163,4 | 153,0 | 154,7 | 156,5 | 158,2 | 159,9 | 161,6  | 165,1 | 166,8 |
| 177,6 | 166,6 | 168,5 | 170,4 | 172,2 | 174,1 | 176,0  | 179,7 | 181,6 |
| 179,9 | 168,6 | 170,5 | 172,4 | 174,2 | 176,1 | 178,0  | 181,8 | 183,7 |
| 204,4 | 187,7 | 189,9 | 192,0 | 194,1 | 196,2 | 198,8  | 202,5 | 204,6 |
| 227,0 | 212,7 | 215,1 | 217,4 | 219,8 | 222,2 | 224,6  | 229,4 | 231,8 |
| 142,1 | 133,0 | 134,5 | 136,0 | 137,5 | 139,0 | 140,5  | 143,5 | 145,0 |
| 218,4 | 204,6 | 206,9 | 209,2 | 211,5 | 213,8 | 216,1  | 220,7 | 223,0 |
| 146,4 | 137,1 | 138,7 | 140,2 | 141,8 | 143,3 | 144,9  | 147,9 | 149,5 |
| 265,9 | 249,1 | 251,9 | 254,7 | 257,5 | 260,3 | 263,1  | 268,7 | 271,5 |

Окончание табл. 2.1

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 193,1 | 180,9 | 182,9 | 185,0 | 187,0 | 189,0 | 191,1 | 195,1 | 197,2 |
| 209,7 | 196,5 | 198,7 | 200,9 | 203,1 | 205,3 | 207,5 | 211,9 | 214,1 |
| 182,0 | 170,5 | 172,4 | 174,3 | 176,2 | 178,1 | 180,1 | 183,9 | 185,8 |
| 204,9 | 191,9 | 194,1 | 196,2 | 198,4 | 200,6 | 202,7 | 207,0 | 209,2 |
| 244,5 | 229,0 | 231,6 | 234,2 | 236,8 | 239,3 | 241,9 | 247,1 | 249,6 |
| 134,8 | 126,2 | 127,7 | 129,1 | 130,5 | 131,9 | 133,3 | 136,2 | 137,6 |
| 124,3 | 116,4 | 117,7 | 119,0 | 120,3 | 121,6 | 123,0 | 125,6 | 256,9 |
| 276,8 | 259,3 | 262,2 | 265,1 | 268,0 | 271,0 | 273,9 | 279,7 | 282,6 |

### Последовательность выполнения работы

1. Сгруппировать эмпирические данные.

Выявить наибольшее  $t_{max}$  и наименьшее  $t_{min}$  значения элементов выборки.

Вычислить приближенное количество интервалов группировки по формуле

$$k = 3,3 \log n + 1. \quad (2.1)$$

Полученное значение следует округлить в меньшую сторону.

2. Рассчитать ширину (длину) интервалов группирования

$$\Delta t = \frac{t_{max} - t_{min}}{k}. \quad (2.2)$$

3. Оформить табл. 2.2 и с ее помощью подсчитать частоты и частости попадания случайной величины в интервалы группирования.

Таблица 2.2

| Номер<br>интервала<br><br>$j$ | Границы<br>интервалов<br><br>$t_j, t_{j+1}$ | Средина<br>интервала<br><br>$\bar{t}_j$ | Встречаемость частот<br>$m_j$ |             | Частость<br><br>$\frac{m_j}{n}$ |
|-------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|
|                               |                                             |                                         | В условных<br>обозначениях    | В<br>цифрах |                                 |
| 1                             | 2                                           | 3                                       | 4                             | 5           | 6                               |

С помощью табл. 2.2 подсчитать частоты попадания случайной величины в интервалы группирования.

4. Построить гистограмму. Для этого значения, полученные в графах 1, 3, 5 табл. 2.2, перенести в графы 1, 2, 3 таблицы 2.3.

Таблица 2.3

| $j$ | $\bar{t}_j$ | $m_j$ | $\bar{t}_j m_j$ | $\bar{t}_j - \bar{t}$ | $(\bar{t}_j - \bar{t})^2$ | $(\bar{t}_j - \bar{t})^2 m_j$ | $y_j$ | $f_{\Theta}(t_j)$ | $f(t_j)$ | $F_{\Theta}(t_j)$ | $F(t_j)$ |
|-----|-------------|-------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|-------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| 1   | 2           | 3     | 4               | 5                     | 6                         | 7                             | 8     | 9                 | 10       | 11                | 12       |

Вычислить по формуле (1.3) значения эмпирической функции распределения и вписать их в графу 11 табл. 2.3.

Рассчитать по формуле (1.4) значения эмпирической плотности распределения вероятностей. Полученные значения записать в графу 9 табл. 2.3 и построить по ним гистограмму.

По форме гистограммы сформулировать гипотезу о виде закона распределения.

5. Определить оценки параметров закона распределения.

Рассчитать графу 4 табл. 2.3. По формуле (2.3) вычислить оценку математического ожидания средней наработки до отказа

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \bar{t}_j m_j. \quad (2.3)$$

Рассчитать графы 5, 6, 7 табл. 2.3 и определить оценку среднего квадратичного отклонения по формуле

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^k (\bar{t}_j - \bar{t})^2 m_j}. \quad (2.4)$$

Вычислить оценку коэффициента вариации

$$\bar{V} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{t}}. \quad (2.5)$$

По значению коэффициента вариации проверить правомерность выдвинутой гипотезы о виде закона распределения (для нормального закона  $V \leq 0,33$ ).

6. Определить теоретические характеристики распределения.

Рассчитать центрированные и нормированные отклонения средин интервалов

$$y_j = \frac{\bar{t}_j - \bar{t}}{\bar{\sigma}} \quad (2.6)$$

и внести полученные значения в графу 8 табл. 2.3.

Вычислить значения теоретической функции распределения

$$F(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right), \quad (2.7)$$

где  $\Phi(x)$  - значение интегральной функции Лапласа (прил. 4).  
Полученные значения записать в графу 12 табл. 2.3.

Определить значения теоретической плотности распределения вероятностей

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right), \quad (2.8)$$

где  $f_0(x)$  - значение функции (прил. 5).

Полученные значения вписать в графу 10 табл. 2.3.

7. Определить оценки показателей надежности разжимного кулака.

Оценка среднего ресурса определяется по формуле (2.3).

$$T_{p.c.p.} = \bar{t}.$$

Вычислить оценку вероятности безотказной работы для заданной наработки

$$\bar{P}(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right), \quad (2.6)$$

где  $\Phi(x)$  - значение интегральной функции Лапласа (прил. 4).

Рассчитать оценку интенсивности отказов при заданном значении наработки

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{\frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right)}{\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right)}, \quad (2.7)$$

Определить оценку гамма-процентного ресурса из уравнения при заданном значении  $\gamma$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{T_{\gamma}-\bar{t}}{\sigma}\right) = \frac{\gamma}{100}. \quad (2.8)$$

8. Построить характеристики надежности разжимного кулака (рис. 2.1, рис. 2.2).

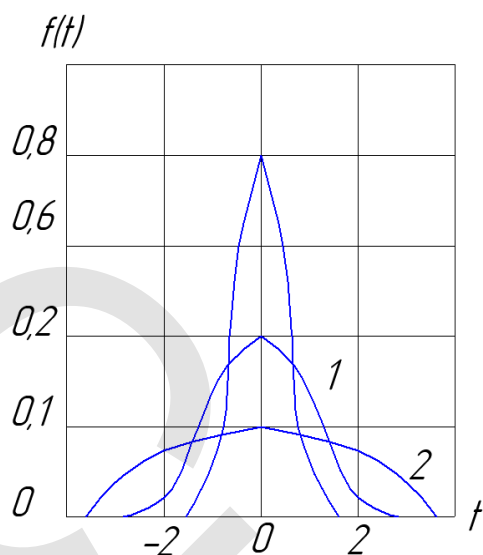


Рис. 2.1. Плотности распределения нормального закона при различных значениях параметра  $\sigma$

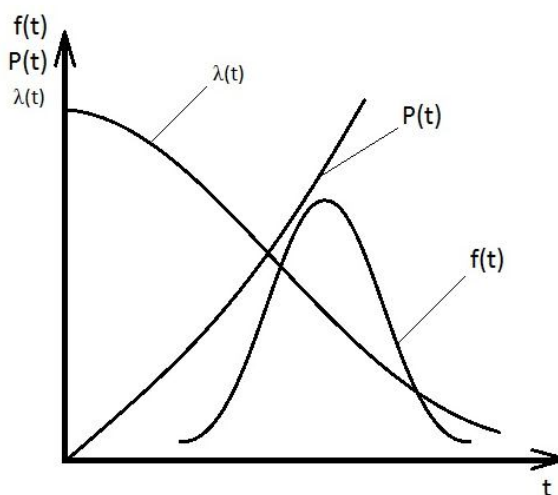


Рис. 2.2. Основные характеристики надежности при нормальном распределении

### **Контрольные вопросы**

1. Сколько параметров имеет нормальное распределение?
2. Чему равен коэффициент вариации нормального распределения?
3. Какие отказы машин согласуются с нормальным распределением?
4. Могут ли исходные данные иметь отрицательные значения?

### Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО КРИТЕРИЮ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЗАЗОРА В СОЕДИНЕНИИ

Целью работы является овладение методикой определения предельных размеров деталей сопряжения, представляющего пару трения скольжения с постепенной (износовой) закономерностью отказов и прогнозирования технического ресурса соединения.

Основной причиной изменения технического состояния механизмов машины является изнашивание деталей. Изнашивание деталей — одна из основных причин снижения срока службы машин. Изнашивание — процесс разрушения и отделения частиц материала от рабочей поверхности детали и накопления остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы детали. Изнашивание зависит от ряда факторов, основной из которых — условия трения. Для характеристики изнашивания используют показатели: линейный износ, скорость изнашивания, интенсивность изнашивания.[2,3]

Линейный износ  $I$  — это изменение размера детали в результате изнашивания в направлении, перпендикулярном поверхности трения.

Скорость изнашивания  $\gamma = dI/dt$  — отношение износа к времени изнашивания. По скорости изнашивания можно судить о долговечности детали.

Интенсивность изнашивания  $i = dI/ds$  — отношение износа к пути трения, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы.

В процессе работы машины с ухудшением ее технического состояния постепенно меняются условия смазки, динамический режим нагружения, условия теплоотвода, характер взаимодействия деталей в узлах трения, физико-механические параметры материалов деталей и показатели эксплуатационных свойств смазочных материалов и рабочих жидкостей. Поэтому закономерности изнашивания элементов машин во времени отличаются не только для различных узлов трения, но и для разных условий эксплуатации.

Наибольшее распространение в качестве теоретической модели изменения износа сопряжения трения во времени получила закономерность, предложенная В. Ф. Лоренцом (рис. 3.1). Такой характер зависимости износа от времени справедлив для большого

числа различных соединений, что и послужило основанием для широкого признания кривой Лоренца.

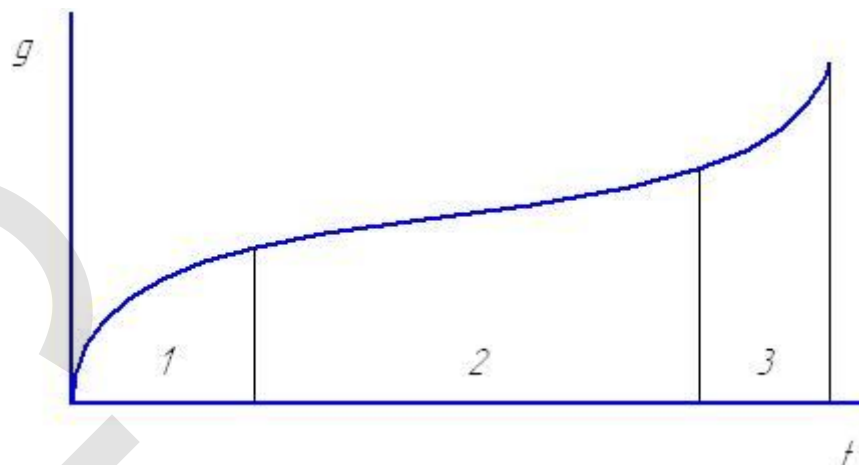


Рис. 3.1 Зависимость износа от времени работы сопряжения

Изнашивание деталей во времени обычно протекает неравномерно. На рис. 3.1, показана кривая нарастания износа у большинства подвижных соединений в функции наработки сопряжения. Период времени 1 соответствует интенсивному изнашиванию в процессе приработки деталей. В периоде времени 2, называемом периодом нормального изнашивания, износ прямо пропорционален времени работы. В периоде времени 3 наступает форсирование изнашивания. Периоды времени 1- 2 названы периодом естественного изнашивания, а период времени 3 - периодом аварийного изнашивания. Более интенсивный износ в период приработки обусловлен тем, что до начала эксплуатации соединения фактическая площадь контакта между сопрягаемыми поверхностями не превышает 5...15 % номинальной площади из-за микрошероховатостей этих поверхностей. В процессе приработки площадь фактического контакта сопрягаемых деталей постепенно увеличивается и соответственно уменьшается удельное давление, что приводит к постепенному снижению скорости изнашивания. Окончание периода приработки характеризуется стабилизацией скорости изнашивания.

Для установившегося износа (период 2) в общем виде величина износа

$$I = \gamma t, \quad (3.1)$$

где  $\gamma$  — скорость изнашивания,  $\gamma = dI/dt$ .

Возрастание скорости изнашивания в период аварийного изнашивания связано с нарушением жидкостного трения и

появлением вибраций из-за больших зазоров в соединении, повышением температуры в зоне трения и ухудшением качества сопрягаемых поверхностей. В машинах катастрофическое изнашивание не допускается.

Однако процесс изнашивания зависит еще и от целого ряда случайных факторов, к которым можно отнести: нестационарный режим работы машины, изменение свойств материалов деталей, смазочных материалов и рабочих жидкостей, воздействие окружающей среды и т. д. Характер изменения и степень воздействия этих факторов обычно трудно предвидеть. Поэтому процесс накопления износа деталей машин обладает большим рассеиванием.

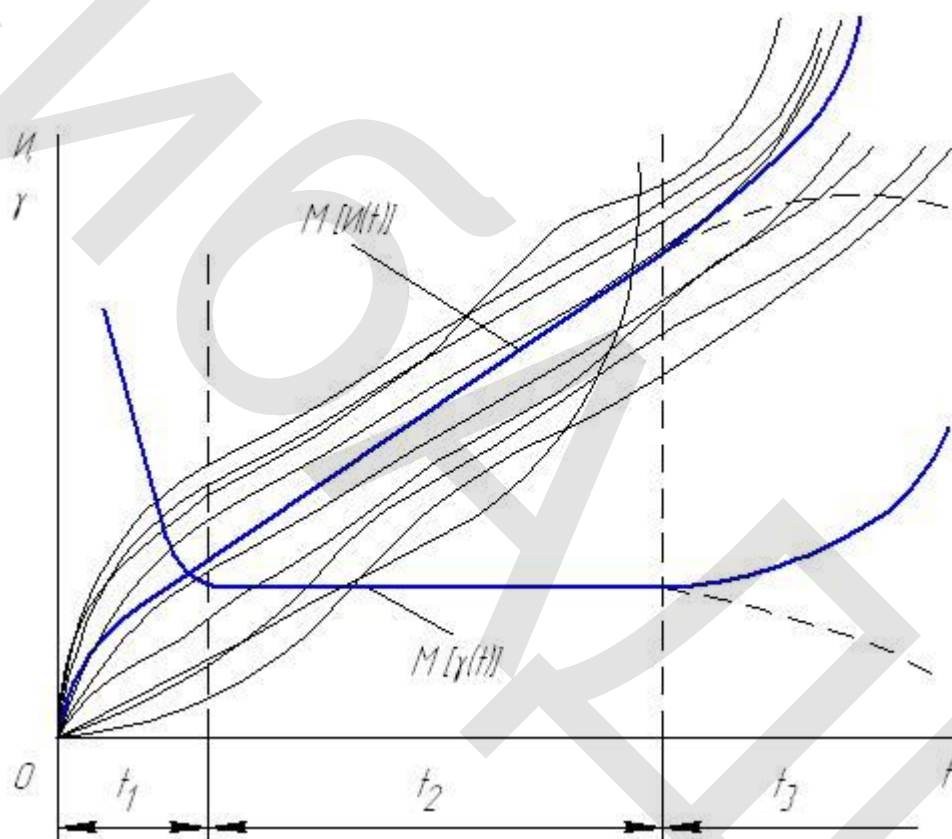


Рис. 3.2. Реализации износа элементов машин

Для выявления закономерности изнашивания сопряжений проводят лабораторные, полигонные испытания, а также исследования в условиях эксплуатации машин. По результатам этих исследований строят графики, представляющие собой пучок реализаций (рис. 3.2), каждая из которых колеблется относительно некоторой осредненной кривой.

Области применения закономерностей изнашивания сопряжений машин очень широки. Определение зависимости износа и скорости изнашивания детали от времени необходимо для оценки ее ресурса, для расчета объема запасных частей, для планирования управляющих технических воздействий в эксплуатации, при прогнозировании надежности машин на стадии проектирования.

Методика определения предельных размеров деталей сопряжения, представляющего пару трения скольжения предусматривает использование линейной зависимости средних износов деталей и их соединений от наработки.

### ***Последовательность выполнения работы***

1. Наименования деталей соединения и исходные технические данные для расчета принимаем по соответствующему варианту из прил. 3, данные занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

| Наименование<br>деталей<br>соединений                    | Размеры<br>деталей по<br>чертежу, мм        | Зазоры в соединении, мм |                        |                        |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                          |                                             | начальный<br>$S_n$      | допустимый<br>$S_{dp}$ | предельный<br>$S_{np}$ |
| Втулка<br>ведомой<br>шестерни<br>Вал ведомой<br>шестерни | $18^{+0,060}_{+0,030}$<br><br>$18_{-0,012}$ | 0,030...0,072           | 0,14                   | 0,25                   |

2. Из таблицы 3.2 выписать данные средней межремонтной наработки  $T_{mr}$  и значений средней скорости изнашивания деталей соединения  $W_{\partial 1}$  и  $W_{\partial 2}$  в соответствии с заданным вариантом.

Таблица 3.2

| Номер<br>варианта<br>задания | Межремонтная<br>наработка $T_{mr}$ ,<br>мото-ч | Средняя скорость изнашивания,<br>$10^{-5}$ мм/мото-ч |                      |
|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|
|                              |                                                | Втулка $W_{\partial 1}$                              | Вал $W_{\partial 2}$ |
| 1...5                        | 3500                                           | 2,1                                                  | 1,20                 |
| 6...10                       | 3200                                           | 2,2                                                  | 1,30                 |
| 11...15                      | 3000                                           | 2,3                                                  | 1,25                 |
| 15...20                      | 2600                                           | 2,4                                                  | 1,35                 |

3. Определим значения допустимого без ремонта  $I_{\partial p}$  и предельного  $I_{np}$  износов деталей сопряжения

$$I_{\partial p} = S_{\partial p} - S_{н\ max} , \quad (3.2)$$

$$I_{np} = S_{np} - S_{н\ max} , \quad (3.3)$$

где  $S_{н\ max}$  - максимальный начальный зазор в соединении, мм;

4. Определим значения средней скорости изнашивания деталей сопряжения

$$W_c = W_{\partial 1} + W_{\partial 2} , \quad (3.4)$$

где  $W_{\partial 1}$ ,  $W_{\partial 2}$  - соответственно средняя скорость изнашивания первой и второй детали соединения, мм/мото-ч.

5. Определим величину полного технического ресурса сопряжения

$$t_p = I_{np} / W_c . \quad (3.5)$$

Полученные расчетные значения  $W_c$  и  $t_p$  нужно рассматривать как среднее значение из-за возможных отклонений, прежде всего вследствие нестабильности условий технической эксплуатации техники.

6. Определим предельные износы деталей соединения следующим образом:

$$I_{ПР\partial m} = (I_{np} \cdot W_{\partial m}) / W_c , \quad (3.6)$$

$$I_{ПР\partial a} = (I_{np} \cdot W_{\partial a}) / W_c . \quad (3.7)$$

7. Определить допустимые износы деталей соединения при заданном преподавателем значении межремонтной наработки  $T_{mr}$  (мото-ч) по следующим зависимостям

$$I_{\partial m} = I_{ПР\partial m} - T_{mr} \cdot W_{\partial m} , \quad (3.8)$$

$$I_{\partial a} = I_{ПР\partial a} - T_{mr} \cdot W_{\partial a} . \quad (3.9)$$

8. Определим допустимые размеры деталей соединения в месте их наибольшего износа с учетом значений максимального диаметра отверстия  $D_{max}$  и минимального диаметра вала  $d_{min}$  (принимаемых по табл. 1) при заданном значении межремонтной наработки  $T_{mr}$  следующим образом:

для втулки  $D_{\partial} = D_{max} + I_{\partial m} , \quad (3.10)$

для вала  $d_{\partial} = d_{min} - I_{\partial a} . \quad (3.11)$

9. Определим предельные (выбраковочные) размеры деталей соединения в месте их наибольшего износа:

$$\text{для втулки} \quad D_{\text{ПР}} = D_{\text{max}} + I_{\text{ПРвн}} ; \quad (3.12)$$

$$\text{для вала} \quad d_{\text{ПР}} = d_{\text{min}} - I_{\text{ПРва}} . \quad (3.13)$$

10. Результаты выполненных расчетов занести в табл. 3.3 (представлен пример заполнения таблицы)

Таблица 3.3

| Наименование<br>деталей<br>соединений | Размеры<br>деталей по<br>чертежу, мм | Размеры деталей, мм    |            |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|
|                                       |                                      | Допустимые без ремонта | Предельные |
| Втулка ведомой<br>шестерни            | $18^{+0,060}_{+0,030}$               | 18,105                 | 18,175     |
| Вал ведомой<br>шестерни               | $18^{-0,012}$                        | 17,963                 | 17,925     |

11. По результатам выполненных расчетов вычертить графическую модель изнашивания деталей соединения в зависимости от наработки  $t$  с указанием значений: полного ресурса соединения  $t_p$ , допустимых без ремонта и предельных размеров и износов деталей, зазоров в соединении. Пример выполнения расчетной схемы приведен на рис. 3.3.

Выполнение графической модели начинается с нанесения и обозначения на осях координат масштабных значений износа и наработки. Затем откладывают от начала координат значения начального зазора  $S_{n \text{ max}}$ , полного ресурса соединения  $t_p$ , предельного зазора  $S_{\text{ПР}}$ , проводят линии износа деталей. Начальные точки линий износа соответствуют предельным отклонениям размеров отверстия и вала по техническим условиям на изготовление деталей. На графической модели указывают значения  $I_{\text{Д}}$  и  $I_{\text{ПР}}$  для обеих деталей, а также  $S_{\text{Д}}$ ,  $S_{\text{ПР}}$ ,  $T_{\text{мр}}$ ,  $t_p$  для соединения в целом.



## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕСУРСА МАШИНЫ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНЫХ ОБЩИХ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Целью работы является определение теоретических затрат на запасные части  $C_{зч}(t)$  для поддержания надежности машины по интервалам ее наработки, овладение методикой расчета оптимального ресурса  $t_p$  и прогнозирования расхода запасных частей.

Для решения задачи определения оптимального ресурса машины по критерию минимальных общих удельных затрат на поддержание надежности в эксплуатации, в качестве исходной информации должно быть задано: [3,5]

$C_{зч}(t)$  - фактические удельные затраты на запасные части в интервалах наработки  $t$ , руб/мото-ч ;

$(A+B+C)$  - сумма коэффициентов, характеризующих соотношение затрат на текущие ремонты машин;

$C_0$  - стоимость машины, руб.

Уровень надежности машины  $n$  определяется соотношением затрат на ее производство  $C_0$  и суммарных затрат на поддержание надежности в эксплуатации за ресурс  $C_{н.н}(t_p)$

$$n = \frac{C_0}{C_{н.н}(t_p)} . \quad (4.1)$$

Известно, что затраты на поддержание надежности машины в эксплуатации в зависимости от наработки представляют сумму затрат на запасные части  $C_{зч}(t)$ , на оплату труда ремонтного персонала  $C_{тр}(t)$ , на эксплуатационные материалы  $C_m(t)$ , на компенсацию простоев в ремонте  $C_{пр}(t)$

$$C_{н.н}(t) = C_{зч}(t) + C_{тр}(t) + C_m(t) + C_{пр}(t) = C_{зч}(t) [1 + A + B + C]. \quad (4.2)$$

Используя зависимость (4.2) легко определить суммарные затраты на запасные части за ресурс машины

$$C_{зч}(t_p) = \frac{C_{н.н}(t_p)}{1+A+B+C} . \quad (4.3)$$

Затраты на запасные части за ресурс машины определяются по формуле

$$C_{н.ч}(t_p) = \frac{b}{n+1} t_p^{n+1} \quad , \quad (4.4)$$

где  $b$  - угловой коэффициент степенной зависимости.

Затраты на запасные части по интервалам наработки машины определяются по формуле

$$C_{з.ч}(t) = \frac{b t^n}{1+A+B+C} \quad . \quad (4.5)$$

Средние удельные затраты на поддержание надежности машины

$$C_{н.ч.ср}(t) = \frac{b}{n+1} t^n = \frac{C_{н.ч}(t)}{n+1} \quad . \quad (4.6)$$

Удельные затраты на производство (приобретение) машины

$$C_{пр}(t) = \frac{c_o}{t} \quad . \quad (4.7)$$

Удельные общие затраты на приобретение машины и поддержание ее надежности в эксплуатации определяются по формуле

$$C_{уд.общ}(t) = C_{н.ч.ср}(t) + C_{пр}(t) \quad . \quad (4.8)$$

Минимальное значение  $C_{уд.общ}(t)$  будет соответствовать оптимальному ресурсу машины.

Требуется: спрогнозировать расход запчастей за оптимальный ресурс  $C_{зч}(t_p)$  и по интервалам наработки  $C_{зч}(t)$ ; определить интервальные, средние и удельные общие затраты на поддержание надежности машины; определить оптимальный ресурс машины  $t_p$  графическим и аналитическим способами.

Таблица 4.1

| № п.п. | Уровень надежности $n$ | Средний ресурс, мото-ч | Сумма коэффициентов $A+B+C$ | Стоимость объекта $C_o$ , тыс.руб. |
|--------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1      | 1,32                   | 5700                   | 3,68                        | 2340                               |
| 2      | 1,35                   | 6000                   | 3,53                        | 3970                               |
| 3      | 1,36                   | 5760                   | 3,84                        | 5290                               |
| 4      | 1,35                   | 7000                   | 3,49                        | 5010                               |
| 5      | 1,36                   | 7500                   | 3,74                        | 7270                               |
| 6      | 1,33                   | 7560                   | 3,71                        | 4210                               |
| 7      | 1,31                   | 8000                   | 3,57                        | 5340                               |
| 8      | 1,39                   | 8500                   | 3,38                        | 8800                               |
| 9      | 1,34                   | 6000                   | 2,86                        | 3000                               |
| 10     | 1,38                   | 7600                   | 3,48                        | 2340                               |
| 11     | 1,40                   | 7000                   | 2,97                        | 7100                               |
| 12     | 1,35                   | 8000                   | 3,52                        | 2290                               |
| 13     | 1,34                   | 8500                   | 3,29                        | 9590                               |
| 14     | 1,33                   | 5760                   | 3,12                        | 2710                               |
| 15     | 1,37                   | 7000                   | 3,24                        | 3480                               |
| 16     | 1,39                   | 10000                  | 3,34                        | 3050                               |
| 17     | 1,31                   | 8700                   | 3,58                        | 2240                               |
| 18     | 1,30                   | 6500                   | 3,80                        | 2890                               |
| 19     | 1,34                   | 7500                   | 3,41                        | 3840                               |
| 20     | 1,38                   | 8000                   | 3,22                        | 2920                               |
| 21     | 1,40                   | 5760                   | 3,31                        | 2370                               |
| 22     | 1,41                   | 6000                   | 3,46                        | 3570                               |
| 23     | 1,37                   | 10000                  | 3,23                        | 4030                               |
| 24     | 1,30                   | 6000                   | 3,02                        | 5360                               |
| 25     | 1,32                   | 5760                   | 3,18                        | 4750                               |

### ***Порядок выполнения работы***

1. В соответствии с заданным вариантом из табл. 4.1 выписать исходные данные. Определить суммарные затраты на поддержание надежности машины в эксплуатации за ресурс  $C_{n,n}(t_p)$  используя зависимость (4.1).

2. Используя зависимость (4.3) определить суммарные затраты на запасные части за ресурс машины  $C_{з,ч}(t_p)$ .

3. Используя зависимость (4.4) найти значение углового коэффициента  $b$  степенной зависимости.

4. Используя зависимость (4.5) определить затраты на запасные части по интервалам наработки. Интервалы наработки  $t$  рекомендуется принять кратными 1000 мото-ч. Результаты расчетов свести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

| $t$<br>мото-ч | $C_{з.ч}(t)$<br>тыс.руб/мот<br>о-ч | $C_{п.н.инт}(t)$<br>тыс.руб/мот<br>о-ч | $C_{п.н.ср}(t)$<br>тыс.руб/мот<br>о-ч | $C_{пр}(t)$<br>тыс.руб/мот<br>о-ч | $C_{уд.общ}(t)$<br>тыс.руб/мот<br>о-ч |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1             | 2                                  | 3                                      | 4                                     | 5                                 | 6                                     |

5. По формулам (4.2) и (4.6) определить интервальные и средние затраты на поддержание надежности по интервалам наработки и заполнить графы 3 и 4 табл. 4.2.

6. По формуле (4.7) определить удельные затраты на производство (приобретение) машины, результаты внести в графу 5 табл. 4.2.

7. По формуле (4.8) определить удельные общие затраты на приобретение машины и поддержание ее надежности в эксплуатации, заполнив графу 6 табл. 4.2.

8. По данным табл. 4.2 построить графики всех зависимостей в функции наработки машины.

9. По значениям кривой удельных общих затрат на приобретение машины и поддержание ее надежности в эксплуатации определить значение оптимального ресурса машины  $t_p$  графическим способом.

10. Сформулировать вывод по выполненному заданию.

### **Контрольные вопросы**

1. Какая составляющая эксплуатационных затрат подлежит контролю в эксплуатации?
2. Чем определяется уровень надежности машины?
3. По какой зависимости изменяются затраты на поддержание надежности машины в эксплуатации?
4. Как определяются удельные затраты на производство машины?

## Практическая работа № 1

### ПРОВЕРКА СОГЛАСИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ ПАРАМЕТРА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Целью работы является овладение методикой проверки согласия между эмпирическим и теоретическим распределениями по критерию  $\chi^2$  Пирсона при обработке информации, полученной по результатам испытаний на надежность или подконтрольной эксплуатации машин. [2,5,6]

Выполнить проверку согласия между эмпирическим и теоретическим распределениями по критерию  $\chi^2$  Пирсона. В качестве исходных данных используем значения табл. 1.3 лабораторной работы № 1.

1. Составить табл. 1.1 основных расчетов критерия согласия. Значения граф 1, 2, 3, 8 табл. 1.3 перенести в графы 1,2,3,4 табл. 1.1.

Таблица 1.1

| j | $\bar{t}_j$ | $m_j$ | $f(t)$ | $P_j$ | $n P_j$ | $m_j - n P_j$ | $(m_j - n P_j)^2$ | $\frac{(m_j - n P_j)^2}{n P_j}$ |
|---|-------------|-------|--------|-------|---------|---------------|-------------------|---------------------------------|
| 1 | 2           | 3     | 4      | 5     | 6       | 7             | 8                 | 9                               |

Интервалы, в которых встречаемость частот  $m_j$  (количество наблюдений) меньше 5, объединить с соседними.

Вычислить вероятность  $P_j$  попадания эмпирических данных в  $j$ -й интервал по формуле

$$P_j = f(t) \Delta t, \quad (1.1)$$

где  $\Delta t$  - ширина интервала, определяемая по формуле (1.2) лабораторной работы № 1.

Полученные результаты вписать в графу 5 табл. 1.1.

В графу 6 табл. 1.1 записать результат вычисления теоретических частот. Рассчитать графы 7, 8, 9 табл. 1.1. Расчетное значение критерия согласия определяется суммой значений графы 9 по формуле

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(m_j - n P_j)^2}{n P_j}. \quad (1.2)$$

Задаемся доверительной вероятностью  $\gamma = \text{Вер}\{x^2 \leq (x^*)^2\}$  того, что величина  $\chi^2$ , полученная в результате случайных отклонений частот эмпирического распределения от соответствующих частот теоретического распределения, будет меньше табличного значения  $(\chi^*)^2$  (прил. 1) установленного для выбранной доверительной вероятности  $\gamma$ .

Сделать заключение о согласованности эмпирических данных с выбранной моделью теоретического распределения.

2. Определить верхнюю и нижнюю доверительные границы параметра  $\lambda$  экспоненциального распределения по формулам

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\tau_4}, \quad (1.3)$$

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{\lambda}{\tau_3}, \quad (1.4)$$

где  $\tau_2$  и  $\tau_4$  - коэффициенты, вычисляемые по формулам

$$\tau_4 = \frac{4(m-1)}{(\sqrt{4m-1} + U_\gamma)^2},$$

$$\tau_3 = \frac{4(m-1)}{(\sqrt{4m-1} - U_\gamma)^2}, \quad (1.5)$$

здесь  $U_\gamma$  - квантиль нормального распределения, соответствующая односторонней доверительной вероятности  $\gamma$ , выбирается по табл. 1.2;

$m$  - суммарное число отказов всех объектов за время наблюдения.

3. Вычислить нижнюю и верхнюю доверительные границы среднего ресурса

$$T_{\text{р.ср.н}} = \tau_1 T_{\text{р.ср.}}, \quad (1.6)$$

$$T_{\text{р.ср.в}} = \tau_2 T_{\text{р.ср.}}, \quad (1.7)$$

где  $\tau_1$  и  $\tau_3$  - коэффициенты, вычисляемые по формулам

$$\tau_1 = \frac{4m}{(\sqrt{4m-1} + U_\gamma)^2}, \quad (1.8)$$

$$\tau_2 = \frac{4m}{(\sqrt{4m-1} - U_\gamma)^2}, \quad (1.9)$$

Найти нижнюю и верхнюю доверительные границы вероятности безотказной работы при заданной наработке

$$P_{\text{в}}(t) = \exp(-\lambda_{\text{н}} t), \quad (1.10)$$

$$P_H(t) = \exp(-\lambda_B t) \quad . \quad (1.11)$$

Вычислить нижнюю и верхнюю доверительные границы гамма – процентного ресурса

$$T_{\gamma.H} = \frac{1}{\lambda_B} (-\ln \frac{\gamma}{100}) \quad , \quad (1.12)$$

$$T_{\gamma.B} = \frac{1}{\lambda_H} (-\ln \frac{\gamma}{100}) \quad . \quad (1.13)$$

Таблица 1.2

| $k$      | Односторонняя доверительная вероятность $\gamma$ |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | 0,80                                             | 0,90  | 0,95  | 0,975 | 0,99  | 0,995 | 0,997 | 0,999 |
| $\infty$ | 0,842                                            | 1,282 | 1,645 | 1,960 | 2,326 | 2,576 | 2,807 | 3,090 |

## Практическая работа № 2

### ПРОВЕРКА СОГЛАСИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ ПАРАМЕТРОВ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Целью работы является овладение методикой проверки согласия между эмпирическим и теоретическим распределениями по критерию Колмагорова при обработки информации, полученной по результатам испытаний на надежность или подконтрольной эксплуатации машин.[1,5,6]

Выполнить проверку согласия между эмпирическим и теоретическим распределениями по критерию Колмогорова. В качестве исходных данных используем значения табл. 2.3 лабораторной работы № 2.

1. Перенести значения граф 2, 11, 12 табл. 2.3 в графы 1, 2, 3 табл. 2.1.

Таблица 2.1

| $\bar{t}_j$ | $F_3(t_j)$ | $F(t_j)$ | $ F_3(t_j) - F(t_j) $ |
|-------------|------------|----------|-----------------------|
| 1           | 2          | 3        | 4                     |

Найти максимальное отклонение между функцией эмпирического и теоретического распределений по формуле

$$D_{\Pi} = \max |F_3(t_j) - F(t_j)| \quad . \quad (2.1)$$

Вычислить величину

$$\lambda_n = D_n \sqrt{n} \quad . \quad (2.2)$$

Задаться доверительной вероятностью

$$\gamma = \text{Вер}\{\lambda_n \leq \lambda_n^*\} \quad (2.3)$$

того, что отклонение  $F_3(t_j)$  от  $F(t_j)$  будет меньше величины  $\lambda_n^*$  (выбранной по прил. 4), установленной для доверительной вероятности.

Сделать заключение о согласованности эмпирических данных с нормальным законом распределения.

2. Определить доверительные границы параметров закона распределения.

Вычислить нижнюю и верхнюю односторонние доверительные границы математического ожидания (среднего ресурса)

$$T_{p.o.n} = \bar{t} - \frac{t_{p1}\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}; \quad (2.4)$$

$$T_{p.o.v} = \bar{t} + \frac{t_{p2}\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}, \quad (2.5)$$

где  $t_{p1,2}$  – выбираются в зависимости от принятой доверительной вероятности  $\gamma$  (прил. 6).

Рассчитать нижнюю и верхнюю односторонние доверительные границы среднего квадратичного отклонения

$$\sigma_{o.n} = z_n \cdot \bar{\sigma}; \quad (2.6)$$

$$\sigma_{o.v} = z_v \cdot \bar{\sigma}, \quad (2.7)$$

где коэффициенты  $z_n$  и  $z_v$  определить в зависимости от принятой доверительной вероятности  $\gamma$  и числа степеней свободы  $\kappa = n - 1$ , по уравнениям

$$z_n = \frac{\sqrt{2\kappa}}{\sqrt{2\kappa-1} + U_\gamma}; \quad (2.8)$$

$$z_v = \frac{\sqrt{2\kappa}}{\sqrt{2\kappa-1} - U_\gamma}, \quad (2.9)$$

здесь коэффициент  $U_\gamma$  выбрать по табл. 1.2 практической работы №1.

### Практическая работа № 3

#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗОВЫХ ЗАМЕН ДЕТАЛЕЙ

Целью работы является определение потребности в  $j$ -х запасных деталях, лимитирующих надежность группы  $N_{cn}$  подметально-уборочных машин на планируемый период их эксплуатации для комплектования ремонтных средств технического сервиса.

Значения начальной и плановой наработок машин парка, а также параметров распределения ресурса  $j$ -й детали приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

| № вар-та | Параметры ресурса детали, тыс. км |                | Плановы й пробег, тыс. км | № машины                                       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          | t <sub>ср</sub>                   | σ <sub>t</sub> |                           | 1                                              | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|          |                                   |                |                           | Начальная наработка t <sub>нач</sub> , тыс. км |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1        | 60                                | 17             | 20                        | 20                                             | 25 | 30 | 35 | 25 | 30 | 40 | 45 | 30 | 35 |
| 2        | 52                                | 12             | 25                        | 5                                              | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 12 | 8  | 17 | 22 |
| 3        | 55                                | 13             | 30                        | 1                                              | 6  | 8  | 12 | 16 | 22 | 25 | 26 | 32 | 30 |
| 4        | 45                                | 10             | 35                        | 2                                              | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 5        | 48                                | 12             | 40                        | 4                                              | 8  | 12 | 15 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 |
| 6        | 51                                | 17             | 10                        | 6                                              | 10 | 8  | 15 | 25 | 17 | 20 | 22 | 26 | 28 |
| 7        | 62                                | 14             | 15                        | 5                                              | 8  | 13 | 10 | 20 | 22 | 24 | 16 | 18 | 30 |
| 8        | 42                                | 13             | 30                        | 1                                              | 5  | 10 | 15 | 12 | 22 | 18 | 20 | 24 | 26 |
| 9        | 44                                | 14             | 20                        | 3                                              | 6  | 9  | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 |
| 10       | 56                                | 17             | 25                        | 1                                              | 3  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 45 | 30 |
| 11       | 60                                | 18             | 30                        | 10                                             | 1  | 3  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| 12       | 60                                | 20             | 35                        | 15                                             | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 38 | 34 | 32 | 30 |
| 13       | 62                                | 19             | 40                        | 20                                             | 15 | 10 | 5  | 1  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 14       | 59                                | 18             | 45                        | 25                                             | 30 | 35 | 40 | 42 | 34 | 28 | 20 | 15 | 10 |
| 15       | 55                                | 17             | 50                        | 27                                             | 32 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5  |
| 16       | 52                                | 16             | 35                        | 17                                             | 27 | 37 | 30 | 32 | 33 | 34 | 35 | 38 | 21 |
| 17       | 50                                | 15             | 40                        | 10                                             | 7  | 30 | 3  | 2  | 45 | 14 | 13 | 31 | 33 |
| 18       | 46                                | 14             | 55                        | 3                                              | 23 | 5  | 30 | 5  | 3  | 58 | 56 | 29 | 43 |
| 19       | 43                                | 13             | 50                        | 25                                             | 3  | 16 | 38 | 29 | 10 | 15 | 43 | 21 | 27 |
| 20       | 40                                | 12             | 35                        | 39                                             | 20 | 8  | 37 | 16 | 6  | 44 | 45 | 35 | 27 |
| 21       | 36                                | 11             | 40                        | 25                                             | 43 | 25 | 38 | 4  | 1  | 15 | 19 | 44 | 12 |
| 22       | 30                                | 10             | 35                        | 28                                             | 21 | 48 | 29 | 33 | 27 | 6  | 7  | 5  | 48 |
| 23       | 35                                | 11             | 30                        | 43                                             | 20 | 19 | 32 | 40 | 20 | 1  | 31 | 36 | 6  |
| 24       | 37                                | 12             | 25                        | 42                                             | 11 | 30 | 47 | 26 | 37 | 49 | 22 | 21 | 33 |
| 25       | 42                                | 13             | 20                        | 35                                             | 10 | 30 | 10 | 18 | 36 | 13 | 28 | 20 | 49 |

Для заданного варианта исходных данных (параметров распределения ресурса детали  $t_{cp}$  и  $\sigma_t$  плановой и начальных наработок 10-ти машин списочного состава парка) требуется: определить число замен  $j$ -й детали по каждой машине и потребность запасных деталей для восстановления работоспособности всей группы обслуживаемых машин за планируемый период их эксплуатации; проанализировать влияние вида функции распределения ресурса детали на число замен и суммарную потребность в запасных частях (для экспоненциального и нормального законов); выявить закономерности изменения расхода запасных частей при варьировании плановой наработки [3,5].

Потребность в разовых заменах  $j$ -й детали (работающей до первого отказа) для каждой  $i$ -й машины зависит от величины интервальной вероятности отказа (наступления предельного состояния)

$$N_{\text{зам}} = F_{\text{отк}}(t) = 1 - P(t_i; t_i + t_{\text{пл}}) = 1 - \frac{P(t_i + t_{\text{пл}})}{P(t_i)}, \quad (3.1)$$

где  $P(t_i)$ ,  $P(t_i + t_{\text{пл}})$  - вероятности безотказной работы детали в начале и конце планируемого интервала наработки машины.

Для группы  $i$ -х машин численностью  $N_{cn}$  потребность в разовых заменах  $j$ -й детали определяется по соотношению

$$N_{\text{зам}} = \sum_{i=1}^{N_{cn}} \left( 1 - \frac{P(t_i + t_{\text{пл}})}{P(t_i)} \right), \quad (3.2)$$

где  $N_{cn}=10$  - списочный состав группы  $i$ -х машин.

### ***Последовательность выполнения работы***

1. Составить табл. 3.2 для расчета вероятности безотказной работы  $j$ -й детали, приняв величину интервала наработки  $\Delta t = 20$  тыс. км.

Таблица 3.2

| Середина<br>интервала<br>$t_i$ ,<br>тыс. км | $t_i - t_{cp}$ | $\frac{t_i - t_{cp}}{\sigma_t}$ | Вероятность<br>безотказной<br>работы<br>$P(t)$ |
|---------------------------------------------|----------------|---------------------------------|------------------------------------------------|
| 1                                           | 2              | 3                               | 4                                              |

2. В графу 1 вписать значения середин интервалов наработки в диапазоне от 0 до 120 тыс. км. Определив значения графы 2, рассчитать квантиль нормального распределения

$$U_p = \frac{t_t - t_{cp}}{\sigma_t} \quad (3.3)$$

и записать в графу 3. Для нормального закона распределения ресурса вероятности безотказной работы детали вычисляются с использованием таблицы квантилей (прил. 2)

$$P(t) = \Phi(U_p) .$$

При отрицательном значении квантили

$$P(t) = 1 - \Phi(|-U_p|) \quad (3.4)$$

3. Построить график (кривую убыли)  $P(t)$  по серединам интервалов наработки.

4. Составить табл. 3.3 для расчета интервальной вероятности отказа и числа замен деталей на плановый период эксплуатации по каждой машине парка

Таблица 3.3

| Показатели безотказности                                                   | № машины |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                                                            | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Вероятность $P(t_{нач})$                                                   |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Вероятность $P(t_{нач} + t_{пл})$                                          |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Вероятность интервальная<br>$P(t_{нач}; t_{нач} + t_{пл})$                 |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Вероятность отказа (замен)<br>$F_{отк} = 1 - P(t_{нач}; t_{нач} + t_{пл})$ |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

5. По формуле (3.2) рассчитать количество замен  $j$ -х деталей на планируемый период наработки по всему парку машин. Полученное значение следует округлить до целочисленного в большую сторону.

6. При тех же исходных данных определить число замен  $j$ -х деталей для планируемого периода эксплуатации группы машин при экспоненциальном распределении ресурса

$$P(t) = e^{-\lambda t_i}, \quad (3.5)$$

где  $\lambda$  - параметр экспоненциального распределения,  $\lambda = 1/t_{cp}$ . Составить табл. 3.3, рассчитать интервальные вероятности безотказной работы и вероятности отказа для всех машин парка. По формуле (3.2) определить число замен деталей для всего парка машин.

7. Проанализировать влияние вида функции распределения ресурса детали на число замен и суммарную потребность в запасных частях (для нормального и экспоненциального законов).

## Практическая работа № 4

### ПЛАНИРОВАНИЕ ГОДОВЫХ НАРАБОТОК МАШИН В ПАРКЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Цель работы: изучить методику планирования годовых наработок машин в парке с учетом изменения коэффициентов, оценивающих простои машин по мере увеличения продолжительности эксплуатации.

Коэффициент технического использования машин по нормативным данным определяется соотношением [2,5]

$$K_{ти} = \frac{1}{1 + B_{нор} t_{сс}}, \quad (4.1)$$

где  $t_{сс}$  - среднесуточная наработка машины,

$$t_{сс} = t_{см} n_{см} K_v, \quad (4.2)$$

где  $t_{см}$  – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$  – коэффициент сменности;

$K_v$  – коэффициент внутрисменного использования;

$B_{нор}$  – доля дня простоя машины в техническом обслуживании и ремонте на один час работоспособного состояния,

$$B_{нор} = \frac{D_1}{t_1} \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) + \frac{D_2}{t_2} \left(1 - \frac{t_2}{t_{тр}}\right) + \frac{D_{тр}}{t_{тр}} \left(1 - \frac{t_{тр}}{t_{кр}}\right) + \frac{D_{кр}}{t_{кр}}, \quad (4.3)$$

где  $D_1, D_2, D_{тр}, D_{кр}$  - дни простоя машины в ТО-1, ТО-2, ТР и КР соответственно;

$t_1, t_2, t_{тр}, t_{кр}$  - периодичность выполнения ТО-1, ТО-2, ТР и КР соответственно.

В продолжительность выполнения текущего ремонта  $D_{тр}$  включается время выполнения ТО-3.

Анализ зависимости  $K_{ти}$  показывает, что его значение определяется среднесуточной наработкой, в свою очередь зависящей от сменности и внутрисменного использования машины. В то же время, значение коэффициента технического использования полученное по зависимости (4.1) справедливо для машин эксплуатирующихся в интервале наработки от 0 до  $0,5 t_p$ . В процессе

дальнейшей эксплуатации снижается безотказность машин, увеличивается число отказов и простои в техническом обслуживании и ремонтах. Установлено, что в интервале от  $0,5 t_p$  до  $0,75 t_p$  значение  $K_{mi}$  составляет 90,2 %, а в интервале от  $0,75 t_p$  до  $t_p$  составляет 81,6 % от нормативного значения (рис. 4.1). Следовательно, при планировании годовых наработок следует разделить парк машин на три «возрастные» группы  $N_{gp1}$ ,  $N_{gp2}$ ,  $N_{gp3}$  и определять  $K_{mi}$  для каждой группы.

Требуется: разработать расчетную таблицу и выполнить расчеты для анализа зависимости  $K_{mi} = \varphi(t_{cc})$ ; построить графики выявленных зависимостей; для заданных условий определить значения  $K_{mi}$  по группам машин парка и определить значения плановой годовой наработки; выполнить анализ полученных результатов и сформулировать выводы.

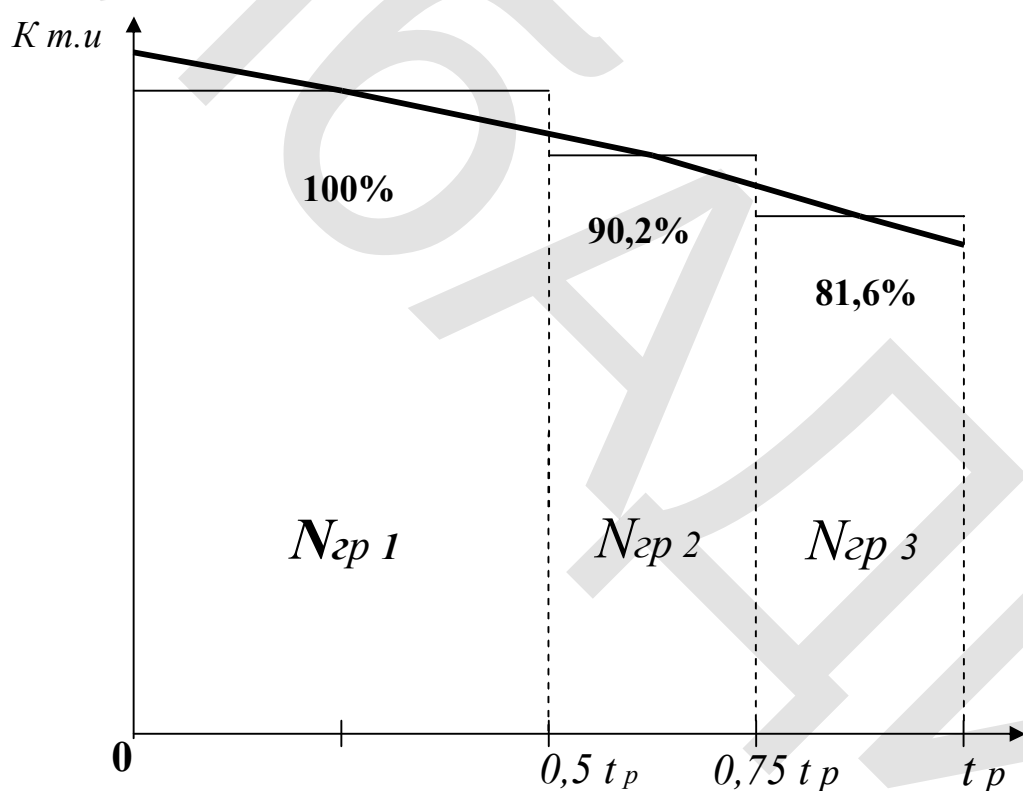


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента технического использования от наработки

## Последовательность выполнения работы

1. В соответствии с заданным вариантом из таблицы 4.1 выписать исходные данные. Разработать расчетную таблицу для анализа зависимости  $K_{ми} = \varphi(t_{cc})$ . При выполнении анализа последовательно принять следующие значения коэффициента сменности  $n_{см} = 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ .

Последовательно выполнить расчеты среднесуточной наработки  $t_{cc}$ ,  $B_{нор}$ ,  $K_{ми}$  для заданных значений  $n_{см}$  и  $K_в$  (нормативные данные простоев в технических воздействиях и их периодичности приведены в "Рекомендациях по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин").

2. Построить графические зависимости  $K_{ми} = \varphi(t_{cc})$ .

3. Определить значение коэффициента технического использования первой группы машин для заданных условий  $n_{см}$  и  $K_в$  (табл. 4.1) по зависимости 4.1.

Таблица 4.1

| № п.п | Вид машины                                                         | $n_{см}$ | $K_в$ | Кол-во машин в парке по группам |           |           |
|-------|--------------------------------------------------------------------|----------|-------|---------------------------------|-----------|-----------|
|       |                                                                    |          |       | $N_{гп1}$                       | $N_{гп2}$ | $N_{гп3}$ |
| 1     | Автогрейдеры легкого типа                                          | 1,2      | 0,7   | 50                              | 100       | 150       |
| 2     | То же, среднего типа                                               | 1,4      | 0,75  | 100                             | 150       | 150       |
| 3     | То же, тяжелого типа                                               | 1,2      | 0,6   | 150                             | 200       | 100       |
| 4     | Бульдозеры гусеничные класса 3т                                    | 1,6      | 0,5   | 200                             | 100       | 150       |
| 5     | То же, 10т                                                         | 1,2      | 0,6   | 50                              | 100       | 70        |
| 6     | То же, 15т                                                         | 1,4      | 0,65  | 200                             | 100       | 100       |
| 7     | То же, 20т                                                         | 1,0      | 0,5   | 200                             | 100       | 150       |
| 8     | Скрепер самоходный с тягачом МАЗ-529Е                              | 1,6      | 0,7   | 100                             | 150       | 200       |
| 9     | То же, с тягачом МоАЗ-546                                          | 1,4      | 0,75  | 100                             | 200       | 75        |
| 10    | То же с тягачом БелАЗ-531                                          | 1,3      | 0,7   | 150                             | 150       | 100       |
| 11    | Скрепер прицепной с ковшом 3...5м <sup>3</sup> , трактор класса 3т | 1,2      | 0,65  | 150                             | 150       | 150       |
| 12    | То же с ковшом 8м <sup>3</sup> и трактором класса 10т              | 1,4      | 0,55  | 140                             | 160       | 100       |
| 13    | То же с ковшом 10м <sup>3</sup> и трактором класса 15т             | 1,2      | 0,7   | 200                             | 130       | 120       |
| 14    | То же с ковшом 15м <sup>3</sup> и трактором класса 25т             | 1,4      | 0,65  | 125                             | 125       | 250       |
| 15    | Экскаватор траншейный, глубина копания до 1,6 м                    | 1,8      | 0,75  | 200                             | 150       | 100       |

Окончание табл. 4.1

|    |                                                                |     |      |     |     |     |
|----|----------------------------------------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|
| 16 | То же, 1,7...2м                                                | 1,6 | 0,7  | 50  | 150 | 150 |
| 17 | То же, 2,5м и более                                            | 1,8 | 0,6  | 70  | 100 | 130 |
| 18 | Экскаватор траншейный<br>роторный, глубина копания до<br>1,6 м | 1,0 | 0,5  | 125 | 175 | 125 |
| 19 | То же, 1,7...2м                                                | 1,4 | 0,55 | 125 | 125 | 125 |
| 20 | То же, свыше 2м                                                | 1,2 | 0,65 | 130 | 100 | 130 |
| 21 | Грейдер прицепной к трактору<br>класса 3т                      | 1,6 | 0,55 | 120 | 150 | 170 |
| 22 | То же 10т                                                      | 1,8 | 0,5  | 110 | 140 | 150 |
| 23 | Грейдер-элеватор с трактором<br>класса 10 т                    | 2,0 | 0,65 | 150 | 110 | 140 |
| 24 | Рыхлители с трактором класса<br>10 т                           | 1,7 | 0,55 | 140 | 140 | 100 |
| 25 | То же, 15т                                                     | 1,8 | 0,75 | 120 | 180 | 110 |

4. Определить значения коэффициента технического использования для второй и третьей групп машин по формулам

$$K_{\text{техп2}} = 0,902 K_{\text{техп1}} , \quad (4.5)$$

$$K_{\text{техп3}} = 0,816 K_{\text{техп1}} . \quad (4.6)$$

5. Рассчитать среднегодовую плановую наработку первой группы машин в парке по формуле

$$t_{\text{пл1}} = D_p K_{\text{техп1}} t_{\text{см}} n_{\text{см}} K_{\text{в}} , \quad (4.7)$$

где  $D_p$  – среднее число рабочих дней в году,  $D_p = 253$ .

6. Рассчитать среднегодовую плановую наработку второй и третьей групп машин по формулам

$$t_{\text{пл2}} = D_p K_{\text{техп2}} t_{\text{см}} n_{\text{см}} K_{\text{в}} , \quad (4.8)$$

$$t_{\text{пл3}} = D_p K_{\text{техп3}} t_{\text{см}} n_{\text{см}} K_{\text{в}} . \quad (4.9)$$

7. Определить среднее значение коэффициента технического использования для заданного парка машин по формуле

$$K_{т.ср.} = \frac{N_{гр1} + 0,902 N_{гр2} + 0,816 N_{гр3}}{N_{гр1} + N_{гр2} + N_{гр3}} .$$

8. Выполнить анализ полученных результатов и сформулировать выводы. Доказать, что составленная расчетная схема рациональна, предложенные таблицы позволяют производить контроль всех этапов расчета, а построенные графики отражают физическую сущность явлений.

Значение функции  $e^x$ ,  $e^{-x}$ 

| x    | $e^x$    | $e^{-x}$    |
|------|----------|-------------|
| 0    | 1        | 1           |
| 0,01 | 1,01005  | 0,990049834 |
| 0,02 | 1,020201 | 0,980198673 |
| 0,03 | 1,030455 | 0,970445534 |
| 0,04 | 1,040811 | 0,960789439 |
| 0,05 | 1,051271 | 0,951229425 |
| 0,06 | 1,061837 | 0,941764534 |
| 0,07 | 1,072508 | 0,93239382  |
| 0,08 | 1,083287 | 0,923116346 |
| 0,09 | 1,094174 | 0,913931185 |
| 0,1  | 1,105171 | 0,904837418 |
| 0,11 | 1,116278 | 0,895834135 |
| 0,12 | 1,127497 | 0,886920437 |
| 0,13 | 1,138828 | 0,878095431 |
| 0,14 | 1,150274 | 0,869358235 |
| 0,15 | 1,161834 | 0,860707976 |
| 0,16 | 1,173511 | 0,852143789 |
| 0,17 | 1,185305 | 0,843664817 |
| 0,18 | 1,197217 | 0,835270211 |
| 0,19 | 1,20925  | 0,826959134 |
| 0,2  | 1,221403 | 0,818730753 |
| 0,21 | 1,233678 | 0,810584246 |
| 0,22 | 1,246077 | 0,802518798 |
| 0,23 | 1,2586   | 0,794533603 |
| 0,24 | 1,271249 | 0,786627861 |
| 0,25 | 1,284025 | 0,778800783 |
| 0,26 | 1,29693  | 0,771051586 |
| 0,27 | 1,309964 | 0,763379494 |
| 0,28 | 1,32313  | 0,755783741 |
| 0,29 | 1,336427 | 0,748263568 |
| 0,3  | 1,349859 | 0,740818221 |
| 0,31 | 1,363425 | 0,733446956 |
| 0,32 | 1,377128 | 0,726149037 |
| 0,33 | 1,390968 | 0,718923733 |
| 0,34 | 1,404948 | 0,711770323 |
| 0,35 | 1,419068 | 0,70468809  |
| 0,36 | 1,433329 | 0,697676326 |
| 0,37 | 1,447735 | 0,690734331 |
| 0,38 | 1,462285 | 0,683861409 |
| 0,39 | 1,476981 | 0,677056874 |
| 0,4  | 1,491825 | 0,670320046 |
| 0,41 | 1,506818 | 0,66365025  |
| 0,42 | 1,521962 | 0,65704682  |
| 0,43 | 1,537258 | 0,650509095 |
| 0,44 | 1,552707 | 0,644036421 |
| 0,45 | 1,568312 | 0,637628152 |

| x    | $e^x$    | $e^{-x}$    |
|------|----------|-------------|
| 0,46 | 1,584074 | 0,631283646 |
| 0,47 | 1,599994 | 0,625002268 |
| 0,48 | 1,616074 | 0,618783392 |
| 0,49 | 1,632316 | 0,612626394 |
| 0,5  | 1,648721 | 0,60653066  |
| 0,51 | 1,665291 | 0,600495579 |
| 0,52 | 1,682028 | 0,594520548 |
| 0,53 | 1,698932 | 0,58860497  |
| 0,54 | 1,716007 | 0,582748252 |
| 0,55 | 1,733253 | 0,57694981  |
| 0,56 | 1,750673 | 0,571209064 |
| 0,57 | 1,768267 | 0,565525439 |
| 0,58 | 1,786038 | 0,559898367 |
| 0,59 | 1,803988 | 0,554327285 |
| 0,6  | 1,822119 | 0,548811636 |
| 0,61 | 1,840431 | 0,543350869 |
| 0,62 | 1,858928 | 0,537944438 |
| 0,63 | 1,877611 | 0,532591801 |
| 0,64 | 1,896481 | 0,527292424 |
| 0,65 | 1,915541 | 0,522045777 |
| 0,66 | 1,934792 | 0,516851334 |
| 0,67 | 1,954237 | 0,511708578 |
| 0,68 | 1,973878 | 0,506616992 |
| 0,69 | 1,993716 | 0,501576069 |
| 0,7  | 2,013753 | 0,496585304 |
| 0,71 | 2,033991 | 0,491644197 |
| 0,72 | 2,054433 | 0,486752256 |
| 0,73 | 2,075081 | 0,48190899  |
| 0,74 | 2,095936 | 0,477113916 |
| 0,75 | 2,117    | 0,472366553 |
| 0,76 | 2,138276 | 0,467666427 |
| 0,77 | 2,159766 | 0,463013068 |
| 0,78 | 2,181472 | 0,458406011 |
| 0,79 | 2,203396 | 0,453844795 |
| 0,8  | 2,225541 | 0,449328964 |
| 0,81 | 2,247908 | 0,444858066 |
| 0,82 | 2,2705   | 0,440431655 |
| 0,83 | 2,293319 | 0,436049286 |
| 0,84 | 2,316367 | 0,431710523 |
| 0,85 | 2,339647 | 0,427414932 |
| 0,86 | 2,363161 | 0,423162082 |
| 0,87 | 2,386911 | 0,418951549 |
| 0,88 | 2,4109   | 0,414782912 |
| 0,89 | 2,43513  | 0,410655753 |
| 0,9  | 2,459603 | 0,40656966  |
| 0,91 | 2,484323 | 0,402524224 |

|      |          |             |
|------|----------|-------------|
| 0,92 | 2,50929  | 0,398519041 |
| 0,93 | 2,534509 | 0,39455371  |
| 0,94 | 2,559981 | 0,390627835 |
| 0,95 | 2,58571  | 0,386741023 |
| 0,96 | 2,611696 | 0,382892886 |
| 0,97 | 2,637944 | 0,379083038 |
| 0,98 | 2,664456 | 0,375311099 |
| 0,99 | 2,691234 | 0,371576691 |
| 1    | 2,718282 | 0,367879441 |
| 1,01 | 2,745601 | 0,36421898  |
| 1,02 | 2,773195 | 0,36059494  |
| 1,03 | 2,801066 | 0,357006961 |
| 1,04 | 2,829217 | 0,353454682 |
| 1,05 | 2,857651 | 0,349937749 |
| 1,06 | 2,886371 | 0,34645581  |
| 1,07 | 2,915379 | 0,343008517 |
| 1,08 | 2,94468  | 0,339595526 |
| 1,09 | 2,974274 | 0,336216494 |
| 1,1  | 3,004166 | 0,332871084 |
| 1,12 | 3,064854 | 0,326279795 |
| 1,13 | 3,095657 | 0,323033256 |
| 1,14 | 3,126768 | 0,319819022 |
| 1,15 | 3,158193 | 0,316636769 |
| 1,16 | 3,189933 | 0,313486181 |
| 1,17 | 3,221993 | 0,310366941 |
| 1,18 | 3,254374 | 0,307278739 |
| 1,19 | 3,287081 | 0,304221264 |
| 1,2  | 3,320117 | 0,301194212 |
| 1,21 | 3,353485 | 0,298197279 |
| 1,22 | 3,387188 | 0,295230167 |
| 1,23 | 3,42123  | 0,292292578 |
| 1,24 | 3,455613 | 0,289384218 |
| 1,25 | 3,490343 | 0,286504797 |
| 1,26 | 3,525421 | 0,283654026 |
| 1,27 | 3,560853 | 0,280831622 |
| 1,28 | 3,59664  | 0,2780373   |
| 1,29 | 3,632787 | 0,275270783 |
| 1,3  | 3,669297 | 0,272531793 |
| 1,31 | 3,706174 | 0,269820056 |
| 1,32 | 3,743421 | 0,267135302 |
| 1,33 | 3,781043 | 0,264477261 |
| 1,34 | 3,819044 | 0,261845669 |
| 1,35 | 3,857426 | 0,259240261 |
| 1,36 | 3,896193 | 0,256660777 |
| 1,37 | 3,935351 | 0,25410696  |
| 1,38 | 3,974902 | 0,251578553 |
| 1,39 | 4,01485  | 0,249075305 |
| 1,4  | 4,0552   | 0,246596964 |
| 1,41 | 4,095955 | 0,244143283 |
| 1,42 | 4,13712  | 0,241714017 |
| 1,43 | 4,178699 | 0,239308922 |
| 1,44 | 4,220696 | 0,236927759 |
| 1,45 | 4,263115 | 0,234570288 |
| 1,46 | 4,30596  | 0,232236275 |

|      |          |             |
|------|----------|-------------|
| 1,47 | 4,349235 | 0,229925485 |
| 1,48 | 4,392946 | 0,227637688 |
| 1,49 | 4,437096 | 0,225372656 |
| 1,5  | 4,481689 | 0,22313016  |
| 1,51 | 4,526731 | 0,220909978 |
| 1,52 | 4,572225 | 0,218711887 |
| 1,53 | 4,618177 | 0,216535667 |
| 1,54 | 4,66459  | 0,214381101 |
| 1,55 | 4,71147  | 0,212247974 |
| 1,56 | 4,758821 | 0,210136071 |
| 1,57 | 4,806648 | 0,208045182 |
| 1,58 | 4,854956 | 0,205975098 |
| 1,59 | 4,903749 | 0,203925612 |
| 1,6  | 4,953032 | 0,201896518 |
| 1,61 | 5,002811 | 0,199887614 |
| 1,62 | 5,05309  | 0,197898699 |
| 1,63 | 5,103875 | 0,195929574 |
| 1,64 | 5,15517  | 0,193980042 |
| 1,65 | 5,20698  | 0,192049909 |
| 1,66 | 5,259311 | 0,19013898  |
| 1,67 | 5,312168 | 0,188247066 |
| 1,68 | 5,365556 | 0,186373976 |
| 1,69 | 5,419481 | 0,184519524 |
| 1,7  | 5,473947 | 0,182683524 |
| 1,71 | 5,528961 | 0,180865793 |
| 1,72 | 5,584528 | 0,179066148 |
| 1,73 | 5,640654 | 0,17728441  |
| 1,74 | 5,697343 | 0,175520401 |
| 1,75 | 5,754603 | 0,173773943 |
| 1,76 | 5,812437 | 0,172044864 |
| 1,77 | 5,870853 | 0,170332989 |
| 1,78 | 5,929856 | 0,168638147 |
| 1,79 | 5,989452 | 0,16696017  |
| 1,8  | 6,049647 | 0,165298888 |
| 1,81 | 6,110447 | 0,163654137 |
| 1,82 | 6,171858 | 0,162025751 |
| 1,83 | 6,233887 | 0,160413568 |
| 1,84 | 6,296538 | 0,158817426 |
| 1,85 | 6,35982  | 0,157237166 |
| 1,86 | 6,423737 | 0,15567263  |
| 1,87 | 6,488296 | 0,154123662 |
| 1,88 | 6,553505 | 0,152590106 |
| 1,89 | 6,619369 | 0,151071809 |
| 1,9  | 6,685894 | 0,149568619 |
| 1,91 | 6,753089 | 0,148080387 |
| 1,92 | 6,820958 | 0,146606962 |
| 1,93 | 6,88951  | 0,145148198 |
| 1,94 | 6,958751 | 0,14370395  |
| 1,95 | 7,028688 | 0,142274072 |
| 1,96 | 7,099327 | 0,140858421 |
| 1,97 | 7,170676 | 0,139456856 |
| 1,98 | 7,242743 | 0,138069237 |
| 1,99 | 7,315534 | 0,136695425 |
| 2    | 7,389056 | 0,135335283 |

|      |          |             |
|------|----------|-------------|
| 2,05 | 7,767901 | 0,128734904 |
| 2,1  | 8,16617  | 0,122456428 |
| 2,15 | 8,584858 | 0,116484158 |
| 2,2  | 9,025013 | 0,110803158 |
| 2,25 | 9,487736 | 0,105399225 |
| 2,3  | 9,974182 | 0,100258844 |
| 2,35 | 10,48557 | 0,095369162 |
| 2,4  | 11,02318 | 0,090717953 |
| 2,45 | 11,58835 | 0,086293586 |
| 2,5  | 12,18249 | 0,082084999 |
| 2,55 | 12,8071  | 0,078081666 |
| 2,6  | 13,46374 | 0,074273578 |
| 2,65 | 14,15404 | 0,070651213 |
| 2,7  | 14,87973 | 0,067205513 |
| 2,75 | 15,64263 | 0,063927861 |
| 2,8  | 16,44465 | 0,060810063 |
| 2,85 | 17,28778 | 0,057844321 |
| 2,9  | 18,17415 | 0,05502322  |
| 2,95 | 19,10595 | 0,052339706 |
| 3    | 20,08554 | 0,049787068 |
| 3,05 | 21,11534 | 0,047358924 |
| 3,1  | 22,19795 | 0,045049202 |
| 3,15 | 23,33606 | 0,042852127 |
| 3,2  | 24,53253 | 0,040762204 |
| 3,25 | 25,79034 | 0,038774208 |
| 3,3  | 27,11264 | 0,036883167 |
| 3,35 | 28,50273 | 0,035084354 |
| 3,4  | 29,9641  | 0,03337327  |
| 3,45 | 31,50039 | 0,031745636 |
| 3,5  | 33,11545 | 0,030197383 |
| 3,55 | 34,81332 | 0,02872464  |
| 3,6  | 36,59823 | 0,027323722 |
| 3,65 | 38,47467 | 0,025991129 |
| 3,7  | 40,4473  | 0,024723526 |
| 3,75 | 42,52108 | 0,023517746 |
| 3,8  | 44,70118 | 0,022370772 |
| 3,85 | 46,99306 | 0,021279736 |
| 3,9  | 49,40245 | 0,020241911 |
| 3,95 | 51,93537 | 0,019254702 |
| 4    | 54,59815 | 0,018315639 |
| 4,5  | 90,01713 | 0,011108997 |
| 5    | 148,4132 | 0,006737947 |
| 5,5  | 244,6919 | 0,004086771 |
| 6    | 403,4288 | 0,002478752 |
| 6,5  | 665,1416 | 0,001503439 |
| 7    | 1096,633 | 0,000911882 |
| 7,5  | 1808,042 | 0,000553084 |
| 8    | 2980,958 | 0,000335463 |
| 8,5  | 4914,769 | 0,000203468 |
| 9    | 8103,084 | 0,00012341  |
| 9,5  | 13359,73 | 7,48518E-05 |
| 10   | 22026,47 | 4,53999E-05 |

| Нормальное распределение               |                                         |                                        |                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| $x = t - t_{cp}/S$<br>$u_p$ - квантили | Вероятность<br>безотказной раб.<br>P(t) | $x = t - t_{cp}/S$<br>$u_p$ - квантили | Вероятность<br>безотказной раб.<br>P(t) |
| 0,000                                  | 0,5000                                  | -1,751                                 | 0,9600                                  |
| -0,1                                   | 0,5398                                  | -1,8                                   | 0,9641                                  |
| -0,126                                 | 0,5500                                  | -1,881                                 | 0,9700                                  |
| -0,2                                   | 0,5793                                  | -2,0                                   | 0,9772                                  |
| -0,2523                                | 0,6000                                  | -2,054                                 | 0,9800                                  |
| -0,3                                   | 0,6179                                  | -2,1                                   | 0,9821                                  |
| -0,385                                 | 0,6500                                  | -2,170                                 | 0,9850                                  |
| -0,4                                   | 0,6554                                  | -2,2                                   | 0,9861                                  |
| -0,5                                   | 0,6915                                  | -2,3                                   | 0,9893                                  |
| -0,524                                 | 0,7000                                  | -2,326                                 | 0,9900                                  |
| -0,6                                   | 0,7257                                  | -2,4                                   | 0,9918                                  |
| -0,674                                 | 0,7500                                  | -2,409                                 | 0,9920                                  |
| -0,7                                   | 0,7580                                  | -2,5                                   | 0,9938                                  |
| -0,8                                   | 0,7881                                  | -2,567                                 | 0,9950                                  |
| -0,842                                 | 0,8000                                  | -2,6                                   | 0,9953                                  |
| -0,9                                   | 0,8159                                  | -2,652                                 | 0,9960                                  |
| -1,0                                   | 0,8113                                  | -2,7                                   | 0,9965                                  |
| -1,036                                 | 0,8500                                  | -2,748                                 | 0,9970                                  |
| -1,1                                   | 0,8643                                  | -2,8                                   | 0,9974                                  |
| -1,2                                   | 0,8849                                  | -2,878                                 | 0,9980                                  |
| -1,282                                 | 0,9000                                  | -2,9                                   | 0,9981                                  |
| -1,3                                   | 0,9032                                  | -3,0                                   | 0,9986                                  |
| -1,4                                   | 0,9192                                  | -3,090                                 | 0,9990                                  |
| -1,5                                   | 0,9332                                  | -3,291                                 | 0,9995                                  |
| -1,6                                   | 0,9452                                  | -3,5                                   | 0,9998                                  |
| -1,645                                 | 0,9500                                  | -3,719                                 | 0,9999                                  |
| -1,7                                   | 0,9554                                  |                                        |                                         |

Данные из технических требований на капитальный ремонт дизеля

| Номер задания | Наименование деталей                            | Размер по чертежу, мм                                | Зазоры, мм       |                   |                      |
|---------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|
|               |                                                 |                                                      | начальный, $S_n$ | допустимый, $S_d$ | предельный, $S_{пр}$ |
| 1             | 2                                               | 3                                                    | 4                | 5                 | 6                    |
| 1             | Блок цилиндров<br><br>Толкатель                 | $25^{+0,052}$<br><br>$25^{-0,008}_{-0,022}$          | 0,008...0,074    | 0,17              | 0,30                 |
| 2             | Втулка распредвала<br><br>Вал распределительный | $50^{+0,025}$<br><br>$50^{-0,060}_{-0,089}$          | 0,050...0,114    | 0,17              | 0,40                 |
| 3             | Втулка направляющая<br><br>Клапан впускной      | $11^{+0,027}_{-0,010}$<br><br>$11^{-0,035}_{-0,060}$ | 0,035...0,087    | 0,20              | 0,40                 |
| 4             | Втулка направляющая<br><br>Клапан выпускной     | $11^{+0,027}$<br><br>$11^{-0,070}_{-0,090}$          | 0,070...0,117    | 0,20              | 0,40                 |
| 5             | Коромысло<br><br>Валик коромысел                | $19^{+0,053}_{+0,020}$<br><br>$19_{-0,021}$          | 0,020...0,074    | 0,12              | 0,35                 |
| 6             | Вкладыши шатунные<br><br>Вал коленчатый         | $68^{+0,025}_{-0,010}$<br><br>$68^{-0,075}_{-0,090}$ | 0,065...0,115    | 0,135             | 0,30                 |

Продолжение прил. 3

| 1  | 2                                                            | 3                                                          | 4             | 5     | 6    |
|----|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|-------|------|
| 7  | Вкладыши<br>коренные<br><br>Вал коленчатый                   | $75^{+0,031}_{-0,010}$<br><br>$75^{+0,080}_{-0,095}$       | 0,070...0,126 | 0,146 | 0,30 |
| 8  | Втулка<br><br>Фланец топлив-<br>ного насоса                  | $50^{+0,027}$<br><br>$50^{+0,050}_{+0,085}$                | 0,050...0,112 | 0,20  | 0,40 |
| 9  | Втулка ведомой<br>шестерни<br><br>Палец ведомой<br>шестерни  | $18^{+0,060}_{+0,030}$<br><br>$18_{-0,012}$                | 0,030...0,072 | 0,14  | 0,25 |
| 10 | Втулка<br>шестерни<br><br>Палец<br>промежуточной<br>шестерни | $40^{+0,050}_{+0,025}$<br><br>$40_{-0,025}$                | 0,025...0,75  | 0,12  | 0,20 |
| 11 | Втулка<br>распредвала<br><br>Вал<br>распределитель-<br>ный   | $50^{+0,027}$<br><br>$50^{+0,050}_{-0,085}$                | 0,050...0,112 | 0,17  | 0,40 |
| 12 | Корпус<br>масляного<br>насоса<br><br>Шестерня<br>насоса      | $42,25^{+0,160}_{+0,075}$<br><br>$42,25^{+0,050}_{-0,085}$ | 0,125...0,245 | 0,30  | 0,55 |
| 13 | Корпус насоса<br><br>Шестерня<br>масляного<br>насоса         | $28^{+0,060}$<br><br>$28^{+0,040}_{-0,070}$                | 0,040...0,130 | 0,16  | 0,20 |

| 1  | 2                                          | 3                                                | 4             | 5    | 6    |
|----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------|------|------|
| 14 | Крышка корпуса<br>ротора<br><br>Ось ротора | $19^{+0,023}$<br>$19^{-0,040}_{-0,070}$          | 0,040...0,093 | 0,12 | 0,20 |
| 15 | Насадок<br><br>Ось ротора                  | $19^{-0,063}_{-0,084}$<br>$19^{-0,110}_{-0,143}$ | 0,026...0,080 | 0,10 | 0,20 |
| 16 | Корпус ротора<br><br>Ось ротора            | $18^{+0,019}$<br>$18^{-0,030}_{-0,055}$          | 0,030...0,074 | 0,10 | 0,18 |
| 17 | Втулка<br>шестерни<br><br>Вал редуктора    | $45,2^{+0,050}$<br>$42,1^{-0,050}_{-0,085}$      | 0,150...0,235 | 0,35 | 0,60 |
| 18 | Втулка<br>толкателя<br><br>Толкатель       | $14^{+0,240}$<br>$14^{-0,120}_{-0,240}$          | 0,120...0,480 | 0,80 | 1,00 |
| 19 | Втулка<br>специальная<br><br>Плунжер       | $13^{+0,240}_{+0,120}$<br>$13^{-0,240}_{-0,360}$ | 0,360...0,600 | 0,80 | 1,20 |
| 20 | Ступица<br><br>Вал редуктора               | $28^{+0,045}$<br>$27,8^{-0,060}_{-0,095}$        | 0,260...0,340 | 0,50 | 0,70 |

Значение функции  $\Phi(x)$ 

| x   | 0        | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,0 | 0,0000   | 0,0080   | 0,0159   | 0,0239   | 0,0319   | 0,0399   | 0,0478   | 0,0558   |
| 0,1 | 797      | 876      | 955      | 1034     | 1113     | 1192     | 1271     | 1350     |
| 0,2 | 1585     | 1663     | 1741     | 1819     | 1897     | 1974     | 2051     | 2128     |
| 0,3 | 2358     | 2434     | 2510     | 2586     | 2661     | 2737     | 2812     | 2886     |
| 0,4 | 3108     | 3182     | 3255     | 3328     | 3401     | 3473     | 3545     | 3616     |
| 0,5 | 3829     | 3900     | 3969     | 4039     | 4108     | 4177     | 4245     | 4313     |
| 0,6 | 4515     | 4581     | 4647     | 4713     | 4778     | 4843     | 4908     | 4971     |
| 0,7 | 5161     | 5223     | 5385     | 5346     | 5407     | 5468     | 5527     | 5587     |
| 0,8 | 5763     | 5821     | 5878     | 5935     | 5991     | 6047     | 6102     | 6157     |
| 0,9 | 6319     | 6372     | 6424     | 6476     | 6528     | 6579     | 6629     | 6680     |
| 1,0 | 6827     | 6875     | 6923     | 6970     | 7017     | 7063     | 7109     | 7154     |
| 1,1 | 7287     | 7330     | 7373     | 7415     | 7457     | 7499     | 7539     | 7580     |
| 1,2 | 7699     | 7737     | 7775     | 7812     | 7850     | 7887     | 7923     | 7959     |
| 1,3 | 8064     | 8098     | 8132     | 8165     | 8197     | 8230     | 8262     | 8293     |
| 1,4 | 8385     | 8415     | 8444     | 8473     | 8501     | 8529     | 8557     | 8584     |
| 1,5 | 8664     | 8689     | 8715     | 8740     | 8764     | 8789     | 8812     | 8836     |
| 1,6 | 8904     | 8926     | 8948     | 8969     | 8990     | 9011     | 9031     | 9051     |
| 1,7 | 0,91087  | 0,91273  | 0,91457  | 0,91637  | 0,91714  | 0,91988  | 0,92159  | 0,92327  |
| 1,8 | 2814     | 2970     | 3124     | 3275     | 3423     | 3569     | 3711     | 3852     |
| 1,9 | 4257     | 4387     | 5414     | 4639     | 4762     | 4882     | 5000     | 5116     |
| 2,0 | 5450     | 5557     | 5662     | 5764     | 5865     | 5964     | 6060     | 6155     |
| 2,1 | 6427     | 6514     | 6599     | 6683     | 6765     | 6844     | 6923     | 6999     |
| 2,2 | 7219     | 7289     | 7358     | 7425     | 7491     | 7555     | 7619     | 7679     |
| 2,3 | 7855     | 7911     | 7965     | 8019     | 8072     | 8123     | 8172     | 8221     |
| 2,4 | 8360     | 8405     | 8443     | 8490     | 8531     | 8571     | 8611     | 8649     |
| 2,5 | 0,98758  | 0,98793  | 0,98826  | 0,98859  | 0,98891  | 0,98923  | 0,98953  | 0,98983  |
| 2,6 | 9068     | 9095     | 9121     | 9146     | 9171     | 9195     | 9219     | 9241     |
| 2,7 | 9307     | 9327     | 9347     | 9367     | 9386     | 9404     | 9422     | 9239     |
| 2,8 | 9489     | 9505     | 9520     | 9535     | 9549     | 9563     | 9576     | 9590     |
| 2,9 | 9627     | 9639     | 9650     | 9661     | 9672     | 9682     | 9692     | 9702     |
| 3,0 | 9730     | 9739     | 9747     | 9755     | 9763     | 9771     | 9779     | 9786     |
| 3,1 | 9806     | 9813     | 9819     | 9825     | 9831     | 9837     | 9842     | 9848     |
| 3,2 | 9863     | 9867     | 9872     | 9876     | 9880     | 9885     | 9889     | 9892     |
| 3,3 | 9903     | 9907     | 9910     | 9912     | 9912     | 9919     | 9922     | 9925     |
| 3,4 | 9933     | 9935     | 9937     | 9940     | 9942     | 9944     | 9946     | 9948     |
| 3,5 | 9953     | 9955     | 9957     | 9958     | 9960     | 9961     | 9963     | 9964     |
| 3,6 | 9968     | 9969     | 9971     | 9972     | 9973     | 9974     | 9975     | 9976     |
| 3,7 | 9978     | 9979     | 9980     | 9981     | 9982     | 9982     | 9983     | 9984     |
| 3,8 | 9986     | 9986     | 9987     | 9987     | 9988     | 9988     | 9989     | 9989     |
| 3,9 | 0,999904 | 0,999991 | 0,999911 | 0,999915 | 0,999919 | 0,999922 | 0,999925 | 0,999928 |
| 4,0 | 9937     | 9939     | 9942     | 9944     | 9946     | 9949     | 9951     | 9953     |
| 4,1 | 9959     | 9960     | 9962     | 9964     | 9965     | 9967     | 9968     | 9969     |
| 4,2 | 9973     | 9974     | 9976     | 9977     | 9978     | 9979     | 9980     | 9980     |

Значения  $f_0(t)$ 

| t   |      | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 0,0 | 0,   | 3989 | 3989 | 3989 | 3988 | 3986 | 3984  | 3982 | 3980 | 3977 | 3973 |
| 0,1 | 0,   | 3970 | 3965 | 3961 | 3956 | 3951 | 3945  | 3939 | 3932 | 3925 | 3918 |
| 0,2 | 0,   | 3910 | 3902 | 3894 | 3885 | 3876 | 3867  | 3857 | 3847 | 3836 | 3825 |
| 0,3 | 0,   | 3814 | 3802 | 3790 | 3778 | 3765 | 3752  | 3739 | 3725 | 3712 | 3697 |
| 0,4 | 0,   | 3683 | 3668 | 3653 | 3637 | 3621 | 3605  | 3589 | 3572 | 3555 | 3538 |
| 0,5 | 0,   | 3521 | 3506 | 3485 | 3467 | 3448 | 3429  | 3410 | 3391 | 3372 | 3352 |
| 0,6 | 0,   | 3332 | 3312 | 3292 | 3271 | 3251 | 3230  | 3209 | 3187 | 3166 | 3144 |
| 0,7 | 0,   | 3123 | 3101 | 3079 | 3056 | 3034 | 3011  | 2989 | 2966 | 2943 | 2920 |
| 0,8 | 0,   | 2897 | 2874 | 2850 | 2827 | 2803 | 2780  | 2756 | 2732 | 2709 | 2685 |
| 0,9 | 0,   | 2661 | 2637 | 2613 | 2589 | 2565 | 2541  | 2516 | 2492 | 2468 | 2444 |
| 1,0 | 0,   | 2420 | 2396 | 2371 | 2347 | 2323 | 2299  | 2275 | 2251 | 2227 | 2203 |
| 1,1 | 0,   | 2179 | 2155 | 2131 | 2107 | 2083 | 2059  | 2036 | 2012 | 1989 | 1965 |
| 1,2 | 0,   | 1942 | 1919 | 1895 | 1872 | 1849 | 2826  | 1804 | 1781 | 1758 | 1736 |
| 1,3 | 0,   | 1714 | 1591 | 1669 | 1647 | 1626 | 1604  | 1582 | 1561 | 1539 | 1518 |
| 1,4 | 0,   | 1497 | 1476 | 1456 | 1435 | 1415 | 1394  | 1374 | 1354 | 1334 | 1315 |
| 1,5 | 0,   | 1295 | 1276 | 1257 | 1238 | 1219 | 1200  | 1182 | 1163 | 1145 | 1127 |
| 1,6 | 0,   | 1109 | 1092 | 1074 | 1057 | 1040 | 1023  | 1006 | 989  | 973  | 957  |
| 1,7 | 0,0  | 9405 | 9246 | 9089 | 8933 | 8780 | 8628  | 8478 | 8329 | 8183 | 8038 |
| 1,8 | 0,0  | 7895 | 7754 | 7614 | 7477 | 7341 | 7206  | 7074 | 6943 | 6814 | 6687 |
| 1,9 | 0,0  | 6562 | 6438 | 6316 | 6195 | 6077 | 5959  | 5844 | 5730 | 5618 | 5508 |
| 2,0 | 0,0  | 5399 | 5292 | 5186 | 5082 | 4980 | 4879  | 4780 | 4682 | 4586 | 4491 |
| 2,1 | 0,0  | 4398 | 4307 | 4217 | 4128 | 4041 | 3955  | 3871 | 3788 | 3706 | 3626 |
| 2,2 | 0,0  | 3547 | 3470 | 3394 | 3319 | 3246 | 3174  | 3103 | 3034 | 2965 | 2898 |
| 2,3 | 0,0  | 2833 | 2768 | 2705 | 2643 | 2582 | 2522  | 2463 | 2406 | 2349 | 2294 |
| 2,4 | 0,0  | 2239 | 2186 | 2134 | 2083 | 2033 | 1984  | 1936 | 1888 | 1842 | 1797 |
| 2,5 | 0,0  | 1753 | 1709 | 1667 | 1625 | 1585 | 1545  | 1506 | 1468 | 1431 | 1394 |
| 2,6 | 0,0  | 1358 | 1324 | 1289 | 1256 | 1223 | 1191  | 1160 | 1130 | 1100 | 1071 |
| 2,7 | 0,0  | 1042 | 1014 | 0987 | 0961 | 0935 | 0,090 | 0885 | 0861 | 0837 | 0814 |
| 2,8 | 0,00 | 7915 | 7696 | 7483 | 7274 | 7071 | 6873  | 6679 | 6491 | 6307 | 6127 |
| 2,9 | 0,00 | 5952 | 5782 | 5616 | 5454 | 5296 | 5143  | 4993 | 4847 | 4705 | 4567 |
| 3,0 | 0,00 | 4432 | 4301 | 4173 | 4049 | 3928 | 3810  | 3695 | 3584 | 3475 | 3370 |
| 3,1 | 0,00 | 4432 | 3276 | 2384 | 1723 | 1232 | 873   | 612  | 425  | 292  | 199  |

Значения коэффициентов  $t_\gamma$  при односторонней доверительной вероятности  $\gamma$ 

| $k$ | 0,8   | 0,9   | 0,95  | 0,975 | 0,99  | 0,995 | 0,9975 | 0,999 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 1   | 1,375 | 3,078 | 6,314 | 12,71 | 31,82 | 63,66 | 127,3  | 318,3 |
| 2   | 1,061 | 1,386 | 2,92  | 4,303 | 6,965 | 9,925 | 14,09  | 22,33 |
| 3   | 0,976 | 1,638 | 2,353 | 3,182 | 4,541 | 5,841 | 7,453  | 10,21 |
| 4   | 0,941 | 1,533 | 2,132 | 2,176 | 3,747 | 4,604 | 5,598  | 7,173 |
| 5   | 0,920 | 1,476 | 2,015 | 2,571 | 3,365 | 4,032 | 4,773  | 5,893 |
| 6   | 0,906 | 1,440 | 1,943 | 2,447 | 3,143 | 3,707 | 4,317  | 5,208 |
| 7   | 0,896 | 1,415 | 1,895 | 2,365 | 2,998 | 3,499 | 4,029  | 4,785 |
| 8   | 0,889 | 1,397 | 1,859 | 2,306 | 2,896 | 3,335 | 3,832  | 4,501 |
| 9   | 0,883 | 1,383 | 1,858 | 2,262 | 2,821 | 3,250 | 3,690  | 4,297 |
| 10  | 0,879 | 1,370 | 1,812 | 2,228 | 2,764 | 3,169 | 3,581  | 4,144 |
| 11  | 0,876 | 1,363 | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 | 3,497  | 4,025 |
| 12  | 0,878 | 1,356 | 1,782 | 2,179 | 2,681 | 3,054 | 3,428  | 3,930 |
| 13  | 0,870 | 1,350 | 1,771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 | 3,372  | 3,852 |
| 14  | 0,858 | 1,345 | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 | 3,326  | 3,787 |
| 15  | 0,866 | 1,341 | 1,753 | 2,131 | 2,602 | 2,947 | 3,286  | 2,733 |
| 16  | 0,865 | 1,337 | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 | 3,255  | 3,686 |
| 17  | 0,863 | 1,333 | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,898 | 3,222  | 3,646 |
| 18  | 0,862 | 1,330 | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 | 3,197  | 3,611 |
| 19  | 0,861 | 1,328 | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 | 3,174  | 3,579 |
| 20  | 0,860 | 1,325 | 1,725 | 2,086 | 2,528 | 2,845 | 3,153  | 3,552 |
| 21  | 0,859 | 1,323 | 1,721 | 2,087 | 2,518 | 2,831 | 3,135  | 3,527 |
| 22  | 0,858 | 1,321 | 1,717 | 2,074 | 2,508 | 2,819 | 3,119  | 3,505 |
| 23  | 0,858 | 1,319 | 1,714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 | 3,104  | 3,485 |
| 24  | 0,857 | 1,318 | 1,711 | 2,064 | 2,492 | 2,797 | 3,090  | 3,467 |
| 25  | 0,856 | 1,316 | 1,708 | 2,060 | 2,485 | 2,787 | 3,078  | 3,450 |
| 26  | 0,856 | 1,315 | 1,706 | 2,056 | 2,479 | 2,779 | 3,067  | 3,453 |
| 27  | 0,855 | 1,314 | 1,703 | 2,052 | 2,473 | 2,771 | 3,056  | 3,421 |
| 28  | 0,855 | 1,313 | 1,701 | 2,048 | 2,467 | 2,763 | 3,047  | 3,408 |
| 29  | 0,854 | 1,311 | 1,699 | 2,045 | 2,462 | 2,756 | 3,038  | 3,396 |
| 30  | 0,854 | 1,310 | 1,697 | 2,042 | 2,457 | 2,750 | 3,030  | 3,385 |
| 32  | 0,853 | 1,309 | 1,694 | 2,037 | 2,449 | 2,738 | 3,015  | 3,365 |
| 34  | 0,853 | 1,307 | 1,691 | 2,032 | 2,441 | 2,728 | 3,002  | 3,348 |
| 36  | 0,852 | 1,305 | 1,688 | 2,028 | 2,434 | 2,719 | 2,990  | 3,333 |
| 38  | 0,852 | 1,304 | 1,686 | 2,024 | 2,429 | 2,712 | 2,580  | 3,319 |

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 40  | 0,851 | 1,303 | 1,684 | 2,021 | 2,423 | 2,704 | 2,971 | 3,307 |
| 42  | 0,851 | 1,302 | 1,682 | 2,018 | 2,418 | 2,698 | 2,963 | 3,296 |
| 44  | 0,850 | 1,301 | 1,680 | 2,015 | 2,414 | 2,692 | 2,955 | 3,286 |
| 46  | 0,850 | 1,300 | 1,679 | 2,013 | 2,410 | 2,687 | 2,949 | 3,277 |
| 48  | 0,849 | 1,299 | 1,677 | 2,011 | 2,407 | 2,682 | 2,943 | 3,269 |
| 50  | 0,849 | 1,298 | 1,676 | 2,009 | 2,403 | 2,678 | 2,937 | 3,261 |
| 55  | 0,848 | 1,297 | 1,673 | 2,004 | 2,396 | 2,668 | 2,925 | 3,256 |
| 60  | 0,848 | 1,296 | 1,671 | 2,000 | 2,390 | 2,660 | 2,915 | 3,232 |
| 65  | 0,847 | 1,295 | 1,669 | 1,997 | 2,385 | 2,654 | 2,906 | 3,220 |
| 70  | 0,847 | 1,294 | 1,667 | 1,994 | 2,381 | 2,648 | 2,899 | 3,211 |
| 80  | 0,846 | 1,292 | 1,664 | 1,990 | 2,374 | 2,639 | 2,887 | 3,195 |
| 90  | 0,845 | 1,291 | 1,662 | 1,987 | 2,368 | 2,632 | 2,878 | 3,183 |
| 100 | 0,845 | 1,290 | 1,660 | 1,984 | 2,364 | 2,626 | 2,871 | 3,174 |
| 120 | 0,844 | 1,289 | 1,658 | 1,980 | 2,358 | 2,617 | 2,860 | 3,159 |
| 150 | 0,844 | 1,287 | 1,655 | 1,976 | 2,351 | 2,609 | 2,860 | 3,159 |
| 200 | 0,843 | 1,286 | 1,653 | 1,972 | 2,345 | 2,601 | 2,838 | 3,131 |

Значения  $\chi^2$  в зависимости от  $k$  и  $\alpha$ 

| $\alpha \backslash k$ | 0,99  | 0,98  | 0,95  | 0,9   | 0,8   | 0,7   | 0,5   | 0,3   | 0,2   | 0,1   | 0,05  | 0,02  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                     | 0,000 | 0,001 | 0,004 | 0,016 | 0,064 | 0,148 | 0,455 | 1,074 | 1,642 | 2,71  | 3,84  | 5,41  |
| 2                     | 0,020 | 0,040 | 0,103 | 0,211 | 0,446 | 0,713 | 1,386 | 2,41  | 3,22  | 4,60  | 5,99  | 7,82  |
| 3                     | 0,015 | 0,185 | 0,352 | 0,584 | 1,005 | 1,424 | 2,37  | 3,66  | 4,64  | 6,25  | 7,82  | 9,84  |
| 4                     | 0,297 | 0,429 | 0,711 | 1,064 | 1,649 | 2,20  | 3,36  | 4,88  | 5,99  | 7,78  | 9,49  | 11,67 |
| 5                     | 0,554 | 0,752 | 1,145 | 1,610 | 2,34  | 3,00  | 4,35  | 6,06  | 7,29  | 9,24  | 11,07 | 13,39 |
| 6                     | 0,872 | 1,134 | 1,635 | 2,20  | 3,07  | 3,83  | 5,35  | 7,23  | 8,56  | 10,64 | 12,59 | 15,03 |
| 7                     | 1,239 | 1,564 | 2,17  | 2,83  | 3,82  | 4,67  | 6,35  | 8,38  | 9,80  | 12,02 | 14,07 | 16,62 |
| 8                     | 1,646 | 2,03  | 2,73  | 3,49  | 4,59  | 5,53  | 7,34  | 9,52  | 11,03 | 13,36 | 15,51 | 18,17 |
| 9                     | 2,09  | 2,53  | 3,32  | 4,17  | 5,38  | 6,39  | 8,34  | 10,66 | 12,24 | 14,68 | 16,92 | 19,68 |
| 10                    | 2,56  | 3,06  | 3,94  | 4,86  | 6,18  | 7,27  | 9,34  | 11,78 | 13,44 | 15,99 | 18,31 | 21,2  |
| 11                    | 3,05  | 3,61  | 4,58  | 5,58  | 6,99  | 8,15  | 10,34 | 12,90 | 14,63 | 17,28 | 19,68 | 22,6  |
| 12                    | 3,57  | 4,18  | 5,23  | 6,30  | 7,81  | 9,03  | 11,34 | 14,01 | 15,81 | 18,55 | 21,0  | 24,1  |
| 13                    | 4,11  | 4,76  | 5,89  | 7,04  | 8,63  | 9,93  | 12,34 | 15,12 | 16,98 | 19,81 | 22,4  | 25,5  |
| 14                    | 4,66  | 5,37  | 6,57  | 7,79  | 9,47  | 10,82 | 13,34 | 16,22 | 18,15 | 21,1  | 23,7  | 26,9  |
| 15                    | 5,23  | 5,98  | 7,26  | 8,55  | 10,31 | 11,72 | 14,34 | 17,32 | 19,31 | 22,3  | 25,0  | 28,3  |
| 16                    | 5,81  | 6,61  | 7,96  | 9,31  | 11,15 | 12,62 | 15,34 | 18,42 | 20,5  | 23,5  | 26,3  | 29,6  |
| 17                    | 6,41  | 7,26  | 8,67  | 10,08 | 12,00 | 13,53 | 16,34 | 19,51 | 21,6  | 24,8  | 27,6  | 31,0  |
| 18                    | 7,02  | 7,91  | 9,39  | 10,86 | 12,86 | 14,44 | 17,34 | 20,6  | 22,8  | 26,0  | 28,9  | 32,3  |
| 19                    | 7,63  | 8,57  | 10,11 | 11,65 | 13,72 | 15,35 | 18,34 | 21,7  | 23,9  | 27,2  | 30,1  | 33,7  |
| 20                    | 8,26  | 9,24  | 10,85 | 12,44 | 14,58 | 16,27 | 19,34 | 22,8  | 25,0  | 28,4  | 31,4  | 35,0  |
| 21                    | 8,90  | 9,92  | 11,59 | 13,24 | 15,44 | 17,18 | 20,3  | 23,9  | 26,2  | 29,6  | 32,7  | 36,3  |
| 22                    | 9,54  | 10,60 | 12,34 | 14,04 | 16,31 | 18,10 | 21,3  | 24,9  | 27,3  | 30,8  | 33,9  | 37,7  |
| 23                    | 10,20 | 11,29 | 13,09 | 14,85 | 17,19 | 19,02 | 22,3  | 26,0  | 28,4  | 32,0  | 35,2  | 39,0  |
| 24                    | 10,86 | 11,99 | 13,85 | 15,66 | 18,06 | 19,94 | 23,3  | 27,1  | 29,6  | 33,2  | 36,4  | 40,3  |
| 25                    | 11,52 | 12,70 | 14,61 | 16,47 | 18,94 | 20,9  | 24,3  | 28,2  | 30,7  | 34,4  | 37,7  | 41,7  |
| 26                    | 12,20 | 13,41 | 15,38 | 17,29 | 19,82 | 21,8  | 25,3  | 29,2  | 31,8  | 35,6  | 38,9  | 42,9  |
| 27                    | 12,88 | 14,12 | 16,15 | 18,11 | 20,7  | 22,7  | 26,3  | 30,3  | 32,9  | 36,7  | 40,1  | 44,1  |
| 28                    | 13,56 | 14,85 | 16,93 | 18,94 | 21,6  | 23,6  | 27,3  | 31,4  | 34,0  | 37,9  | 41,3  | 45,4  |
| 29                    | 14,26 | 15,57 | 17,71 | 19,77 | 22,5  | 24,6  | 28,3  | 32,5  | 35,1  | 39,1  | 42,6  | 46,7  |

Предельные значение нормированных отклонений опытного  
распределения от значений теоретического распределения  
для заданных доверительных вероятностей

| $-\gamma$ | $\lambda_n^a$ | $\gamma$ | $\lambda_n^a$ |
|-----------|---------------|----------|---------------|
| 0,01      | 0,104         | 0,60     | 0,89          |
| 0,05      | 0,52          | 0,70     | 0,97          |
| 0,10      | 0,57          | 0,80     | 1,07          |
| 0,15      | 0,61          | 0,90     | 1,22          |
| 0,20      | 0,65          | 0,95     | 1,36          |
| 0,30      | 0,71          | 0,98     | 1,52          |
| 0,40      | 0,77          | 0,99     | 1,63          |