## Учреждение образования

«Белорусский государственный

технологический университет»

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Методические указания**

**по выполнению лабораторных работ**

**по одноименному курсу для студентов специальностей**

**1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса»,
1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»**

Минск 2009

УДК 621 (075.8)

ББК 34.5я 73

Т38

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составитель *А. К. Вершина*

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры

технологии машиностроения БНТУ *И. Л. Баршай*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2009 год. Поз. 22.

Для студентов специальностей 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов».

© УО«Белорусский государственный технологический университет», 2009

**Лабораторная работа № 1**

**Определение точности операции механической обработки статистическим методом**

**при распределении значений исследуемого параметра по закону Гаусса**

**Цель работы**

1. Освоить на практике методику определения точности операции механической обработки с использованием статистического метода при распределении погрешностей параметров качества детали
по закону Гаусса.

2. Проверить гипотезу о законе распределения одного
из параметров точности колец, изготовленных на токарно-винторезном станке, и определить показатель точности технологической операции по исследуемому параметру.

Работа рассчитана на четыре академических часа.

**Общие положения**

Оценка точности технологической операции производится
на основе исследования распределения действительных размеров при обработке деталей машин. При механической обработке деталей наиболее часто распределение показателей качества происходит по законам нормального распределения (Гаусса) и эксцентриситета (Релея и Максвелла).

Закону нормального распределения подчиняются многие непрерывные случайные величины, на которые влияет большое число взаимно независимых случайных факторов. В условиях механической обработки ее погрешность складывается из многочисленных погрешностей элементов технологической системы станок–приспособление–инструмент–заготовка.

Для изготовления деталей с заданной точностью не­обходимо знать причины возникновения погрешностей при механической обработке и их величину. Учитывая харак­тер и величины погрешностей, возникающих при обра­ботке, можно управлять погрешностями, снижая или устраняя их совсем. В настоящее время наибольшее распространение получили два метода анализа точности обработки заготовок: расчетно-аналитический и статистический.

**Расчетно-аналитический метод** заклю­чается в том, что изучаются причины, вызывающие погрешности обработки заготовок
на станках, находятся величины этих погрешностей, и определяется суммарная погрешность обработки. Она сравнивается с допуском
на заданный размер и должна быть меньше его. Сум­марная погрешность обработки состоит из систематиче­ских постоянных, систематических переменных и случай­ных погрешностей.

Систематической постоянной называется погреш­ность, которая не изменяется в течение одной настройки станка. К таким погрешностям можно отнести геомет­рические неточности станков, погрешности схемы обра­ботки, настройки станков, приспособлений
и мерного режущего инструмента (сверла, зенкера, развертки и др.). Например, неперпендикулярность оси шпинделя сверлильного станка по отношению к плоскости стола будет создавать такую же неперпендикулярность оси просверленного отверстия к базовому торцу детали.

Систематической переменной называется погрешность, которая закономерно изменяется в течение одной настройки станка. И это изменение подчиняется видимой закономерности. К таким погрешностям обработки можно отнести погрешности, возникающие из-за износа режущего инструмента, переменной жесткости системы
СПИД при обточке вала в центрах и др.

К случайным относятся погрешности, которые возни­кают
в результате воздействия большого количества не­связанных между собой случайных факторов. Случай­ная погрешность имеет различное значение при обра­ботке одной и той же партии деталей и не подчиняется видимой закономерности. К случайным можно отнести погрешности установки и базирования, погрешности, вызываемые колебаниями величины припуска у разных деталей партии, а также вызываемые колебаниями твердости обрабатываемого материала и др.

Систематические постоянные погрешности суммиру­ются алгебраически (с учетом их знака), а систематиче­ские переменные (любого знака: « + » или « – ») – арифметически. Случайные погрешности складываются по правилу квадратного корня, а именно:

,

где Δ – суммарная погрешность обработки; Δ1, Δ2, Δ*n* – составляющие погрешности обработки.

Систематическая погрешность складывается со слу­чайной арифметически.

*Статистический метод* анализа точности обработки заключается в определении суммарной погрешности пу­тем измерения обработанных деталей в партии и анали­за результатов измерения с применением математиче­ской статистики. Один из таких методов для исследова­ния точности механической обработки основан на изуче­нии кривых распределения. Кривая распределения фактических размеров, полученных на основании изме­рений, строится следующим образом: измеряют по не­обходимому размеру партию деталей в количестве 50–200 шт. Обычно количество деталей рекомендуется брать равным 50. При этом погрешность определения среднего квадратического отклонения σ равна ±10%. Если количество измеряемых деталей взять больше, то эта погрешность уменьшится. Получен­ные размеры разбивают на группы в соответствии с установленными интервалами (удобно брать 5, 7, 9 или 11 интервалов, значение границ интервалов выбирают округленно). Далее подсчитывают, сколько деталей имеют размеры, находящиеся в пределах каждого ин­тервала. Абсолютная величина числа деталей в каждом интервале называется частотой, а отношение этих вели­чин к общему числу деталей партии – относительной частотой или частостью *m*/*n*. Полученные результаты интерпретируют графически (рис. 1.1).

–3σ

+3σ

Поле допуска

*x*

σ

σ

Б´

*y*max

Кривая нормального распределения

Кривая фактического распределения

*m*/*n*

0,2

0,1

Поле рассеяния размеров

Рис. 1.1. Кривая фактического и нормального распределения

По оси абсцисс откладывают значения выбранных ин­тервалов
и отмечают середины интервалов *Xi*. По оси ординат ча­стоту *m* или частость *m*/*n*. Соединяя полученные точки прямы­ми, получают ломаную линию. По мере увеличения ко­личества измеряемых деталей
в партии и числа интервалов ломаная линия приближается к плавной кривой, которая носит название *кривой распределения размеров*.

Для практического использования закона нормаль­ного распределения необходимо определить средний размер *X*ср и среднее квадратическое отклонение σ.

После этого на графике распределения действи­тельных размеров строится теоретическая кривая нор­мального распределения
(см. рис. 1.1). Разность между большим и наименьшим действительными размерами деталей и партии называют *размахом распределения* или *полем рассеяния*.

Кривая нормального распределения характеризуется следующими свойствами (рис. 1.2): она симметрична относительно оси ординат, и ветви ее асимптотически приближаются к оси абсцисс. На расстоянии ±σ от вершины кривая имеет две точки перегиба (точки *А*и *В*). При увеличении среднеквадратического отклонения σ ордината *y* уменьшается, а поле рассеяния возрастает, вследствие чего кривая становится более пологой и низкой, что соответ­ствует меньшей точности изготовления деталей (рис. 1.3, *а*). Систематические погрешности не влияют на форму кривой распределения, а лишь смещают ее
на соответствующую величину (рис. 1.3, *б*). Вероятность по­лучения размеров деталей в интервалах ±σ, ±2σ и ±3σ составляет соответственно 68,27; 95,45 и 99,73%. За пре­делами интервала ±3σ находится только 0,27% всех деталей, поэтому указанный интервал может быть при­нят за практическое предельное поле рассеяния.

*A*

*B*

*y*

σ

σ

–3σ

+3σ

*x*ср

*x*

*y*max

Рис. 1.2. Кривая нормального распределения (кривая Гаусса)

Определив по данным наблюдений значение σ, мож­но охарактеризовать точность исследуемого технологи­ческого процесса. При условии равенства допуска 6σ мы практически имеем 100%-ную годность обрабатываемых деталей, так как вероятное количество брака менее 0,3%. При 5σ вероятное количество брака увеличивает­ся, а при 7σ – снижается очень мало. Несмотря на то, что величина 6σ является условной, правило «шести сигм» является достаточно простым, удобным и точным для практического применения способа оценки точности технологического процесса.

*y*

σ=1/2

σ=1

σ=2

Δ*n*

 *а* *б*

Рис. 1.3. Влияние среднеквадратического отклонения (*а*) и постоянной

систематической погрешности (*б*) на форму и положение

 кривой нормального распределения:

Пользуясь кривой нормального распределения, можно найти вероятное количество годных деталей, на размер *Аi* которых установлен допуск , вероятные количества исправимого и неисправимого брака. Для этого на график распределения фактических размеров (см. рис. 1.1) в принятом масштабе наносят величину поля заданного допуска (отрезок АБ) и через концы соответствующего отрезка проводят ординаты до пересечения с кривой распределения (точки А′ и Б′). Площадь, ограниченная прямыми АА′ и ББ′ и кривой нормального распределения (заштрихованная площадь), определяет количество годных деталей, а незаштрихованная площадь – количество бракованных деталей. Отношение незаштрихованной площади ко всей площади кривой распределения, умноженное на 100, определяет процентное значение бракованных деталей для данного технологического процесса. Причем, для деталей типа валов незаштрихованная площадь слева обозначает неисправимый брак, справа – исправимый. Для деталей типа втулок правая незаштрихованная площадь определяет количество деталей с неисправимым браком, а незаштрихованная площадь слева – с исправимым.

**Методические указания**

Определение точности операции в данном случае производится путем измерения общей выборки деталей, обработанных на одном станке за межнастроечный период. Станок настраивается на обработку кольца, исследуемым параметром точности которого является толщина *b*.

Работа сводится к выявлению совокупного действия случайных погрешностей в процессе обработки детали.

Для уменьшения трудоемкости выполнения лабораторной работы допускается использовать готовые комплекты колец, обработанных по приведенной схеме. Рекомендуется использовать комплекты по 100 колец с номинальными размерами в следующих пределах: наружный диаметр равен 20–30 мм, толщина *b* = 6–10 мм с полем допуска *Tb* = 0,15–0,40.

В соответствии с литературными данными предполагается,
что распределение размера *b* изготовленного кольца подчиняется закону Гаусса. В результате математической обработки измеренных значений эту гипотезу надо или подтвердить, или отвергнуть.

Вычисление статистических характеристик удобно вести в форме таблиц.

Сначала оформляется протокол измерений исследуемого параметра, в который записываются результаты измерений в последовательности их проведения. В табл. 1.1 приведены результаты измерений толщины 100 колец, обработанных на токарном автомате.
Для снижения трудоемкости записей в каждой графе таблицы полное численное значение параметра указывается только один раз – в верхней строке, ниже указываются только десятые и сотые доли миллиметра каждого размера. По таблице можно установить, что наибольшее значение измеренного размера составляет 7,39 мм, а наименьшее – 7,31 мм. Всего имеется 9 групп деталей с различными размерами, включая указанные крайние значения.

Подсчет частот и статистических характеристик удобно вести
в форме таблицы (табл. 1.2). Во второй графе записываются границы интервалов, в которые попадают измеренные размеры. Для того чтобы значения размеров ряда не попадали на граничные значения интервалов, целесообразно числовые значения границ интервалов устанавливать с точностью на один знак после запятой больше, чем цена деления принятого измерительного средства. В нашем случае, например, для значения 7,33 мм границы интервала устанавливаются от 7,325 до 7,335 мм.

В данном примере число интервалов невелико и соответствует количеству размеров ряда, т. е. девяти. Если число размеров ряда значительно больше, то диапазон измеренных размеров целесообразно разбить на интервалы, в которых будут сгруппированы по 2 и более размера. Для того чтобы значение середины интервала имело столько же знаков после запятой, как и входящие в него размеры, необходимо, чтобы число объединенных в интервалы размеров было нечетным.
В этом случае середина интервала соответствует среднему в данном интервале размеру, что в значительной мере упрощает вычисления.

Таблица 1.1

**Протокол измерения толщины колец, обработанных**

**на токарном автомате (нормальное распределение)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Размер |  | №п/п | Размер | №п/п | Размер | №п/п | Размер | №п/п | Размер |
| 1 | 7,31 |  | 21 | 7,34 | 41 | 7,34 | 61 | 7,33 | 81 | 7,33 |
| 2 | 34 |  | 22 | 36 | 42 | 36 | 62 | 35 | 82 | 35 |
| 3 | 36 |  | 23 | 35 | 43 | 37 | 63 | 34 | 83 | 34 |
| 4 | 32 |  | 24 | 32 | 44 | 35 | 64 | 37 | 84 | 36 |
| 5 | 35 |  | 25 | 35 | 45 | 34 | 65 | 34 | 85 | 38 |
| 6 | 37 |  | 26 | 35 | 46 | 37 | 66 | 38 | 86 | 35 |
| 7 | 33 |  | 27 | 33 | 47 | 35 | 67 | 36 | 87 | 38 |
| 8 | 36 |  | 28 | 36 | 48 | 32 | 68 | 34 | 88 | 35 |
| 9 | 37 |  | 29 | 35 | 49 | 36 | 69 | 37 | 89 | 36 |
| 10 | 33 |  | 30 | 34 | 50 | 34 | 70 | 35 | 90 | 35 |
| 11 | 35 |  | 31 | 35 | 51 | 34 | 71 | 34 | 91 | 36 |
| 12 | 37 |  | 32 | 34 | 52 | 35 | 72 | 35 | 92 | 34 |
| 13 | 36 |  | 33 | 36 | 53 | 33 | 73 | 36 | 93 | 36 |
| 14 | 34 |  | 34 | 35 | 54 | 36 | 74 | 35 | 94 | 35 |
| 15 | 37 |  | 35 | 32 | 55 | 35 | 75 | 36 | 95 | 34 |
| 16 | 31 |  | 36 | 35 | 56 | 33 | 76 | 33 | 96 | 38 |
| 17 | 37 |  | 37 | 33 | 57 | 36 | 77 | 38 | 97 | 34 |
| 18 | 35 |  | 38 | 36 | 58 | 35 | 78 | 39 | 98 | 38 |
| 19 | 37 |  | 39 | 32 | 59 | 37 | 79 | 36 | 99 | 36 |
| 20 | 32 |  | 40 | 35 | 60 | 34 | 80 | 39 | 100 | 38 |

На основании протокола измерений заполняется третья графа таблицы (табл. 1.2) путем подсчета соответствующих частот. В четвертой графе записывается значение *yi*, численно равное середине интервала, в пятой графе – вспомогательная величина , где *y*0 – новое начало отсчета, за которое обычно принимается середина интервала, имеющего наибольшую частоту. В нашем случае
*y*0 = 7,35 мм; *h* = 0,01 мм – размер интервала. Это позволяет в дальнейшем оперировать целыми числами и упростить вычисления.
В шестой графе подсчитываются и записываются в каждой строке моменты первого порядка *m*, а в седьмой – моменты второго порядка *mi*.

Таблица 1.2

**Подсчет эмпирических и теоретических частот нормального распределения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № изме-рений | Интервал | *mi* | *yi* |  | *m* | *mi* | *t* | ø(*t*) | *F*(*x*) |  |  |
| 1 | 7,305–7,315 | 2 | 7,31 | –4 | –8 | 32 | –2,08 | –0,481 | 0,019 | 1,9 | 2 |
| 2 | 7,315–7,325 | 6 | 7,32 | –3 | –18 | 54 | –1,5 | –0,433 | 0,067 | 4,8 | 5 |
| 3 | 7,325–7,335 | 9 | 7,33 | –2 | –18 | 36 | –0,92 | –0,321 | 0,179 | 11,2 | 11 |
| 4 | 7,335–7,345 | 18 | 7,34 | –1 | –18 | 18 | –0,35 | –0,137 | 0,363 | 18,4 | 18 |
| 5 | 7,345–7,355 | 25 | 7,35 | 0 | 0 | 0 | 0,23 | 0,091 | 0,591 | 22,8 | 23 |
| 6 | 7,355–7,365 | 20 | 7,36 | 1 | 20 | 20 | 0,81 | 0,291 | 0,791 | 20,0 | 20 |
| 7 | 7,365–7,375 | 11 | 7,37 | 2 | 22 | 44 | 1,39 | 0,418 | 0,918 | 12,7 | 13 |
| 8 | 7,375–7,385 | 7 | 7,38 | 3 | 21 | 63 | 1,96 | 0,475 | 0,975 | 5,7 | 6 |
| 9 | 7,385–7,395 | 2 | 7,39 | 4 | 8 | 32 | 2,54 | 0,494 | 0,994 | 1,9 | 2 |
| Σ |  | 100 |  |  | +9 | 299 |  |  |  |  | 100 |

\*Округленные значения .

Значения моментов первого и второго порядков суммируются по строкам таблицы, и результаты записываются внизу соответствующих граф. Среднее значение параметра

,

если результаты измерений записаны в протоколе в абсолютных значениях, или

,

если результаты измерений записаны в протоколе в отклонениях
от начала отсчета *x*0.

Среднее квадратическое отклонение параметра

.

В нашем примере  мм;

 мм.

Далее необходимо сопоставить эмпирическое распределение, предположительно принятое как нормальное, с теоретическим. Для этого в одних и тех же координатах строятся эмпирический полигон
и кривая нормального распределения (рис. 1.1). Данные для построения полигона распределения берутся из табл. 1.2.

Для построения кривой нормального распределения подсчитываются теоретические частоты нормального распределения при помощи функции Ф(*t*) путем дальнейшего заполнения граф таблицы (табл. 1.2).

Значения *t* вычисляются по формуле

,

где *x*нб – наибольшее или верхнее значение данного интервала;  и σ – ранее вычисленные среднее значение и среднее квадратическое отклонение. Затем определяются значения функции Лапласа (прил. 1), по которым для каждого интервала подсчитывается интегральная функция

*F*(*x*) = 0,5 + Ф(*t*).

По *F*(*x*) можно определить теоретическую частость.

Для первого интервала в нашем примере

=*F*(*x*)1*n* = 0,019∙100 = 1,9.

Для второго интервала

 = [*F*(*x*)2  – *F*(*x*)1] *n* = (0,067 – 0,019) ∙100 = 4,8 и т. д.

Полученные теоретические частости округляются до целых чисел. Все вычисленные значения записываются в соответствующие графы таблицы (табл. 1.2). Затем по округленным значениям теоретических частостей строится кривая нормального распределения. Построение теоретической кривой следует выполнять на том же графике, где ранее построен эмпирический полигон (рис. 1.1). Это дает возможность приблизительно судить о степени совпадения эмпирического распределения с теоретическим.

Для количественного сопоставления эмпирического и теоретического распределений пользуются критериями согласия, например критерием χ2 Пирсона, который вычисляется по формуле

,

где *z* – число сравниваемых частостей; *mi* и  – эмпирическая и теоретическая частости в *i*-м интервале.

Согласно данным для и  χ2 = 0,98.

По прил. 2 находим (0,05; 4) = 9,5. Так как 0,98 < 9,5, то нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении анализируемого размера *b*.

Поле рассеивания размеров принимается для нормального закона распределения ω = 6σ, что обеспечивает вероятность получения годных деталей в пределах 99,73%. В нашем случае ω = 6σ ∙0,173 = 0,104.

Показатель точности технологической операции определяется по формуле *K*p = ω / δ = 6σ/ δ, где δ – поле допуска исследуемого параметра качества. Если *K*p = 0,75–0,85, точность процесса считается удовлетворительной.

**Порядок выполнения работы**

1. Произвести измерение толщины колец общей выборки деталей согласно варианту задания. Результаты измерений записать в протокол.

2. Определить эмпирические частости и статистические характеристики распределения данного параметра.

3. Определить теоретические частости распределения.

4. Построить эмпирический полигон, теоретическую кривую распределения и дать заключение об их соответствии.

5. Вычислить критерий χ2 и проверить гипотезу о законе распределения.

6. Определить показатель точности операции по исследуемому параметру.

7. Проанализировать полученные результаты.

8. Составить отчет.

**Содержание отчета**

1. Название работы.

2. Задание и необходимая для проведения лабораторной работы оснастка.

3. Эскиз детали с указанием измеряемого размера.

4. Протокол измерений (см. табл. 1.1).

5. Расчет эмпирических и теоретических частот (см. табл. 1.2).

6. Расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения измеренного параметра.

7. Эмпирический полигон и теоретическая кривая распределения.

8. Расчет критерия χ2.

9. Заключение о проверке гипотезы нормального распределения.

10. Определение поля рассеивания и показателя точности технологической операции.

11. Выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Распределение каких параметров качества детали подчиняется нормальному закону и почему?

2. Как определяется среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение исследуемого параметра качества?

3. Как определяется показатель точности технологической операции?

4. Как определяется соответствие опытного и теоретического распределения случайных погрешностей?

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

Значения функции Лапласа 

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t* | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| 0,0 | 0, | 0000 | 0040 | 0080 | 0120 | 0160 | 0199 | 0239 | 0279 | 0319 | 0359 |
| 0,1 |  | 0398 | 0438 | 0478 | 0517 | 0557 | 0596 | 0636 | 0675 | 0714 | 0753 |
| 0,2 |  | 0793 | 0832 | 0871 | 0909 | 0948 | 0987 | 1026 | 1064 | 1103 | 1141 |
| 0,3 |  | 1179 | 1217 | 1255 | 1293 | 1331 | 1368 | 1406 | 1443 | 1480 | 1517 |
| 0,4 |  | 1555 | 1591 | 1628 | 1664 | 1700 | 1736 | 1772 | 1808 | 1844 | 1879 |
|  |
| 0,5 | 0, | 1915 | 1950 | 1985 | 2019 | 2045 | 2088 | 2123 | 2157 | 2190 | 2224 |
| 0,6 |  | 2257 | 2291 | 2324 | 2357 | 2389 | 2422 | 2454 | 2486 | 2517 | 2549 |
| 0,7 |  | 2580 | 2611 | 2642 | 2673 | 2703 | 2734 | 2764 | 2794 | 2823 | 2852 |
| 0,8 |  | 2881 | 2910 | 2939 | 2967 | 2995 | 3023 | 3051 | 3078 | 3106 | 3133 |
| 0,9 |  | 3159 | 3186 | 3212 | 3238 | 3264 | 3289 | 3315 | 3340 | 3365 | 3389 |
|  |
| 1,0 | 0, | 3413 | 3438 | 3461 | 3485 | 3508 | 3531 | 3554 | 3577 | 3599 | 3621 |
| 1,1 |  | 3643 | 3665 | 3683 | 3708 | 3729 | 3749 | 3770 | 3790 | 3810 | 3830 |
| 1,2 |  | 3849 | 3869 | 3888 | 3907 | 3925 | 3944 | 3962 | 3980 | 3997 | 4015 |
| 1,3 |  | 4032 | 4049 | 4066 | 4082 | 4099 | 4115 | 4131 | 4147 | 4162 | 4177 |
| 1,4 |  | 4192 | 4207 | 4222 | 4236 | 4251 | 4265 | 4279 | 4292 | 4306 | 4319 |
|  |
| 1,5 | 0, | 4332 | 4345 | 4357 | 4370 | 4382 | 4394 | 4406 | 4418 | 4429 | 4441 |
| 1,6 |  | 4452 | 4463 | 4474 | 4484 | 4495 | 4505 | 4515 | 4525 | 4535 | 4545 |
| 1,7 |  | 4554 | 4564 | 4573 | 4582 | 4591 | 4599 | 4608 | 4616 | 4625 | 4633 |
| 1,8 |  | 4641 | 4649 | 4656 | 4664 | 4671 | 4678 | 4686 | 4693 | 4699 | 4706 |
| 1,9 |  | 4713 | 4719 | 4726 | 4732 | 4738 | 4744 | 4750 | 4756 | 4761 | 4767 |
|  |
| 2,0 | 0, | 4772 | 4778 | 4783 | 4788 | 4793 | 4798 | 4803 | 4808 | 4812 | 4817 |
| 2,1 |  | 4821 | 4826 | 4830 | 4834 | 4838 | 4842 | 4846 | 4850 | 4854 | 4857 |
| 2,2 |  | 4861 | 4865 | 4868 | 4871 | 4875 | 4878 | 4881 | 4884 | 4887 | 4890 |
| 2,3 |  | 4893 | 4896 | 4898 | 4901 | 4904 | 4906 | 4909 | 4911 | 4913 | 4916 |
| 2,4 |  | 4918 | 4920 | 4922 | 4925 | 4927 | 4929 | 4931 | 4932 | 4934 | 4936 |
|  |
| 2,5 | 0, | 4938 | 4940 | 4941 | 4943 | 4945 | 4946 | 4948 | 4949 | 4951 | 4952 |
| 2,6 |  | 4953 | 4955 | 4956 | 4957 | 4959 | 4960 | 4961 | 4962 | 4963 | 4964 |
| 2,7 |  | 4965 | 4966 | 4967 | 4968 | 4969 | 4970 | 4971 | 4972 | 4973 | 4974 |
| 2,8 |  | 4984 | 4975 | 4976 | 4977 | 4978 | 4978 | 4979 | 4979 | 4980 | 4981 |
| 2,9, |  | 4971 | 4982 | 4982 | 4983 | 4984 | 4984 | 4985 | 4985 | 4986 | 4986 |

Окончание прил. 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t* | Ф(*t*) | *t* | Ф(*t*) | *t* | Ф(*t*) |
| 3,00–3,02 | 0,4987 | 3,14–3,17 | 0,4992 | 3,39–3,48 | 0,4997 |
| 3,03–3,04 | 0,4988 | 3,18–3,21 | 0,4993 | 3,49–3,61 | 0,4998 |
| 3,05–3,07 | 0,4989 | 3,22–3,26 | 0,4994 | 3,62–3,89 | 0,4999 |
| 3,08–3,10 | 0,4990 | 3,27–3,32 | 0,4995 | 4,50 | 0,499997 |
| 3,11–3,13 | 0,4991 | 3,33–3,38 | 0,4996 | 5,00 | 0,4999997 |

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

Критические точки распределения χ2 при уровне значимости

α = 0,05

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *k* | χ*2* | *k* | χ*2* | *k* | χ*2* |
| 1 | 3,8 | 11 | 19,7 | 21 | 32,7 |
| 2 | 6,0 | 12 | 21,0 | 22 | 33,9 |
| 3 | 7,8 | 13 | 22,4 | 23 | 35,2 |
| 4 | 9,5 | 14 | 23,7 | 24 | 36,4 |
| 5 | 11,1 | 15 | 25,0 | 25 | 37,7 |
| 6 | 12,6 | 16 | 26,3 | 26 | 38,9 |
| 7 | 14,1 | 17 | 27,6 | 27 | 40,1 |
| 8 | 15,5 | 18 | 28,9 | 28 | 41,3 |
| 9 | 16,9 | 19 | 30,1 | 29 | 42,6 |
| 10 | 18,3 | 20 | 31,4 | 30 | 43,8 |