

**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
ПО КРИВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Основы технологии машиностроения»

УДК 621.9

Анализ точности обработки деталей по кривым распределения. Метод.указ. к выполнению лаб.работы по дисциплине «Основы технологии машиностроения»-

Составители	доц., канд.техн.наук В.Ф. Скворцов доц., канд.техн.наук А.Ю. Арляпов
Рецензент	доц., канд.техн.наук Е.П. Михаевич

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – изучение методики анализа точности обработки деталей с помощью кривых распределения, которая позволяет наиболее достоверно оценить фактическую точность, качество настройки станка, определить вероятный процент брака на исследуемой операции.

В зависимости от условий обработки распределения погрешностей деталей могут подчиняться различным законам. Как показали многочисленные исследования [1 - 4], распределения погрешностей размеров деталей, изучаемых при выполнении данной работы, наиболее часто соответствуют нормальному закону (закону Гаусса). В связи с этим указанная методика рассматривается применительно к анализу погрешностей, имеющих нормальное распределение.

ПОСТРОЕНИЕ ГИСТОГРАММЫ И ЭМПИРИЧЕСКОЙ КРИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Для построения гистограммы и эмпирической кривой распределения производят измерение параметров точности в выборке (группе деталей), взятой из генеральной совокупности (всей партии обрабатываемых деталей). Для того, чтобы по данным выборки можно было уверенно судить о распределении исследуемого параметра точности в генеральной совокупности, выборка должна быть представительной. Для этого она должна быть случайной и иметь необходимый объем (количество деталей).

Выборка называется случайной, если все объекты (детали) генеральной совокупности имеют равную возможность попасть в выборку. С целью обеспечения случайности выборки пользуются либо отбором по жребию, либо путем тщательного перемешивания деталей (составляющих генеральную совокупность) в таре и отбора их наудачу из разных мест тары. Объем выборки n обычно составляет 50...100 штук.

Построение эмпирической кривой распределения погрешностей и гистограммы производится в следующей последовательности:

1. По результатам измерений деталей выборки определяется разность между наибольшим и наименьшим размерами (размах выборки R). Величина $R = x_{\max} - x_{\min}$ делится на ряд равных интервалов (см. табл.1). При объеме выборки $n = 50...100$ штук число интервалов f рекомендуется принимать равным 6...8. Определяется ширина интервала $a = R/f$. Для компенсации погрешности измерений ширину интервала следует брать примерно в два раза больше цены деления измерительного прибора.
2. Подсчитывается частота n_i – количество деталей, попавших в каждый интервал, или частость n_i/n – отношение частоты к объему выборки. При этом в каждый интервал включаются детали с размерами, лежащими в пределах от наименьшего значения интервала включительно до наибольшего значения интервала, исключая его. Определяются середины

интервалов (средние размеры интервалов) x_i . Результаты подсчетов заносятся в таблицу, аналогичную приведенной для примера табл.1.

- Для построения гистограммы распределения (рис.1) на оси абсцисс откладывают интервалы размеров и на каждом из этих интервалов, как на основании, строят прямоугольник, высота которого пропорционально частоте или частности. Соединяя середины верхних сторон прямоугольника отрезками прямых, получают график (рис.1), называемый эмпирической кривой или полигоном распределения.

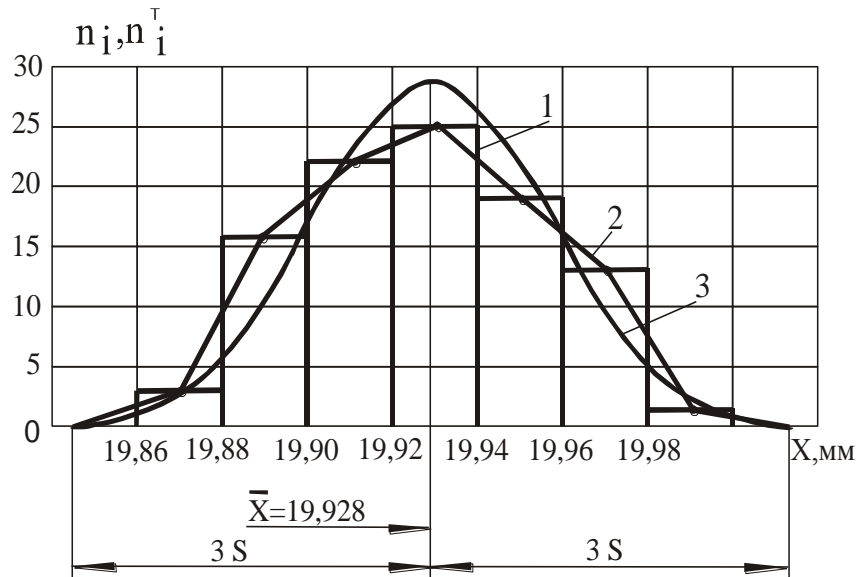


Рис.1. Гистограмма (1) , эмпирическая кривая (2) и кривая нормального распределения размеров (3)

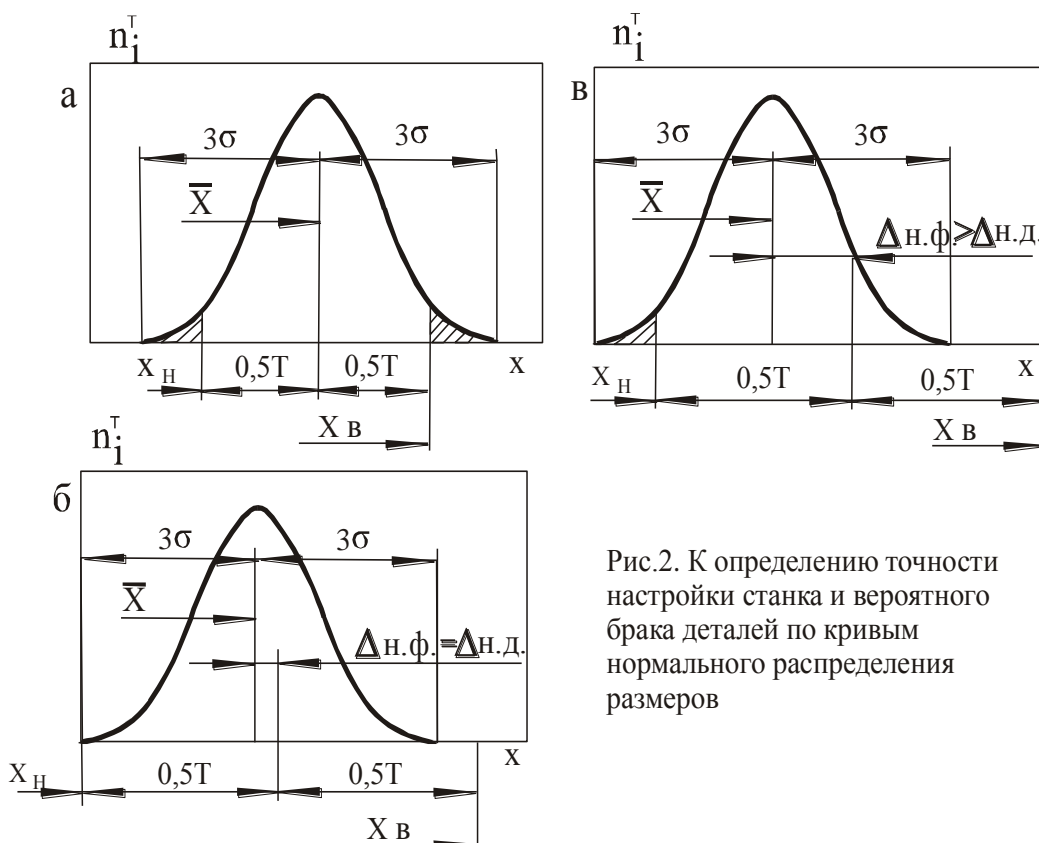


Рис.2. К определению точности настройки станка и вероятного брака деталей по кривым нормального распределения размеров

Таблица 1

Интервалы размеров		Середина интервала, x_i	Эмпирическая частота, n_i	t	Z_t	Теоретическая частота, n_i^t	Теоретическая частота, n_i^t (округл.)
От	до						
19,86	19,88	19,87	3	2,07	0,0468	3,40	3
19,88	19,90	19,89	16	1,35	0,1604	11,50	11
19,90	19,92	19,91	22	0,64	0,3251	23,50	23
19,92	19,94	19,93	25	0,072	0,3980	28,55	29
19,94	19,96	19,96	19	0,785	0,2940	21,45	22
19,96	19,98	19,97	13	1,50	0,1295	9,20	9
19,98	20,00	19,99	2	2,20	0,0355	2,60	3

ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

По внешнему виду эмпирической кривой можно приближенно установить закон распределения погрешностей в генеральной совокупности. Для более точного заключения необходимо сопоставить эмпирическую кривую распределения с предполагаемой теоретической. С этой целью для каждого интервала значений x необходимо вычислить теоретические частоты или частоты и по ним построить теоретическую кривую распределения.

Уравнение кривой нормального распределения имеет вид:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $\varphi(x)$ - плотность вероятности (вероятность появления того или иного значения случайной величины);

σ - среднее квадратическое отклонение случайной величины;

\bar{x}_0 - среднее значение случайной величины;

x - текущее ее значение;

e - основание натуральных логарифмов.

В экспериментальных исследованиях в качестве приближенных оценок параметров генеральной совокупности \bar{x}_0 и σ используются выборочное среднее \bar{x} и выборочное среднее квадратическое отклонение S , которые вычисляются по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^f x_i n_i}{n}; \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f n_i (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (3)$$

При построении теоретической кривой нормального распределения принимается, что $\bar{x}_0 = \bar{x}$ и $\sigma = S$.

Приближенно можно считать, что

$$\varphi(x) \approx \frac{n_i^T}{n \cdot a} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где n_i^T - теоретическая частота, a – ширина интервала (величина a введена в уравнение (4) для приведения теоретической кривой нормального распределения к тому же масштабу, в котором вычерчена эмпирическая кривая).

Из уравнения (4) будем иметь

$$n_i^T = \frac{n \cdot a}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\sigma^2}}. \quad (5)$$

Если в выражение (5) подставить

$$t = \frac{x - \bar{x}_0}{\sigma},$$

то получим

$$n_i^T = \frac{n \cdot a}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}.$$

Обозначим $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} = Z_t$ и примем, что $\sigma = S$.

Тогда формула (5) примет вид

$$n_i^T = \frac{n \cdot a}{S} \cdot Z_t. \quad (6)$$

Величина Z_t вычислена для различных значений t и приведена в таблице приложения 1. Значения t для каждого интервала размеров находятся по формуле:

$$t = \frac{|x_i - \bar{x}|}{S} \quad (7)$$

Таким образом, для подсчета теоретических частот необходимо для каждого интервала размеров по формуле (7) определить значение t , по таблице приложения 1

найти Z_t и затем воспользоваться формулой (6). При подсчете теоретических частот целесообразно пользоваться таблицей (см. табл.1). График теоретической кривой нормального распределения обычно совмещается с графиком эмпирической кривой (рис.1). Необходимо отметить, что теоретическая кривая нормального распределения также может быть построена по характерным точкам. Координаты характерных точек кривой нормального распределения приведены в табл.2.

Таблица 2

Характерные точки	Абсцисса	Ордината
Вершина кривой	x	$n_i^T = 0,4 \frac{n \cdot a}{S}$
Точка перегиба	$x \pm S$	$n_i^T = 0,24 \frac{n \cdot a}{S}$
Точка перегиба	$x \pm 2S$	$n_i^T = 0,054 \frac{n \cdot a}{S}$
-	$x \pm 3S$	$n_i^T = 0$

ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ НОРМАЛЬНОМУ

Для проверки соответствия эмпирического распределения теоретическому соответствует ряд критериев [2-4]. В данной работе с этой целью используется критерий χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T}, \quad (8)$$

где m – число сравниваемых частот,

n_i, n_i^T – соответственно эмпирическая и теоретическая частота i -го интервала значений x .

Для удобства вычисления χ^2 целесообразно использовать таблицу (см. табл.3).

Таблица 3

Интервалы размеров		n_i	n_i^T	$ n_i - n_i^T $	$(n_i - n_i^T)^2$	$\frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T}$
От	до					
19,86	19,88	3 } 19 16 }	3 } 14 11 }	5	25	1,78
19,88	19,90					
19,90	19,92	22	23	1	1	0,043
19,92	19,94	25	29	4	16	0,550
19,94	19,96	19	22	3	9	0,410
19,96	19,98	13 } 15 2 }	9 } 12 3 }	3	9	0,750
19,98	19,20					
						$\chi^2 = 3,53$

При определении критерия χ^2 необходимо, чтобы частоты интервалов были не менее пяти. Если в каком-либо интервале частота будет менее пяти, то его следует объединить с соседним, как это показано в табл.3. Затем необходимо найти число k по формуле:

$$k = m - p - 1, \quad (9)$$

где p – число параметров теоретического распределения для нормального распределения ($p = 2, k = m - 3$). По таблице приложения 3 по найденным значениям χ^2 и k определяется вероятность $p(\chi^2)$. Если будет выполняться неравенство $p(\chi^2) > 0,005$, то можно считать, что эмпирическое распределение соответствует теоретическому (нормальному) и использовать его закономерности для анализа точности обработки. Если указанное неравенство выполняться не будет, то в качестве теоретического следует использовать другой закон распределения.

В приведенном примере (табл.2) $\chi^2 = 3,53, k = 5 - 3 = 2$. По таблице приложения 3 находим, что $0,2 > p(\chi^2) > 0,1$. Следовательно, можно считать, что распределение размеров соответствует нормальному закону.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАСТРОЙКИ СТАНКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОГО ПРОЦЕНТА БРАКА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИССЛЕДУЕМОЙ ОПЕРАЦИИ

Для нормального распределения поле рассеивания погрешностей (в генеральной совокупности) определяется по формуле:

$$\omega_{\bar{n}} = 6\sigma. \quad (10)$$

Выборочное среднее квадратическое отклонение S , как уже отмечалось, является приближенной оценкой σ . Погрешность оценки σ по S зависит от объема выборки. Учитывая это обстоятельство, необходимо при использовании формулы (10) значение σ определять из соотношения [4]

$$\sigma = Z_2 \cdot S, \quad (11)$$

где Z_2 – коэффициент, принимаемый в зависимости от объема выборки по таб.4.

Таблица 4

n	25	50	75	100	200
Z_2	1,39	1,25	1,19	1,16	1,11

Необходимым условием обработки деталей без брака является

$$\omega_c < T, \quad (12)$$

где T – допуск на размер.

Если это условие не выполняется (рис.2а), то брак неизбежен.

Условие (12) является необходимым, но не достаточным, так как в действительности появление брака возможно, если настройка станка выполнена с фактической погрешностью $\Delta_{н.ф.}$, превышающей допустимую $\Delta_{н.д.}$ (см. рис. 2б,в). Поэтому вторым условием обработки деталей без брака будет

$$\Delta_{н.ф.} < \Delta_{н.д.} \quad (13)$$

Величина $\Delta_{н.ф.}$ находится из выражения

$$\Delta_{н.ф.} = \left| \bar{x} - \frac{x_в + x_н}{2} \right|, \quad (14)$$

где $x_в, x_н$ – наибольший и наименьший предельные размеры детали по чертежу.
Допустимая погрешность настройки

$$\Delta_{т.д.} = \frac{T}{2} - \frac{\omega_{\bar{n}}}{2}. \quad (15)$$

Если условия (12) и (13) не выполняются, то необходимо рассчитать величину вероятного брака.

Площадь, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, равна единице или 100%

Вероятность попадания случайной величины, имеющей нормальное распределение, в интервал $[x_1, x_2]$ равна (в долях единицы)

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (16)$$

Если x_1 и x_2 представляют собой предельные значения размеров детали по чертежу (см. рис.2а), то очевидно, что P – это вероятность получения годных деталей. Соответственно, вероятность получения брака будет равна $1-P$.

Вероятность попадания случайной величины в интервал $\bar{x}_0 \pm 3\sigma$ составляет 99,73%, поэтому в практических расчетах указанные пределы изменения x и принимают за величину поля рассеивания погрешностей ω_c .

Переходя к новой переменной $t = \frac{x - \bar{x}_0}{\sigma}$ и учитывая, что $x = t\sigma + \bar{x}_0$, $dx = \sigma dt$, получим следующее выражение для определения вероятности попадания случайной величины в интервал $[x_1, x_2]$

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_t^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (17)$$

Правую часть выражения (17) можно представить в виде суммы двух интегралов

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_t^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Интеграл $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t)$ называется нормированной функцией Лапласа, ее значение для различных t табулированы и приведены в таблице приложения 2. При определении функции Лапласа величина t берется по модулю.

Таким образом, если задан допуск на размер и предельные размеры детали по чертежу x_B, x_H , то вероятный процент брака составит:

по верхнему пределу поля допуска

$$P_{б.в.} = [0,5 - \Phi(t_g)] \cdot 100\% ; \quad (18)$$

по нижнему пределу поля допуска

$$P_{б.н.} = [0,5 - \Phi(t_n)] \cdot 100\% . \quad (19)$$

В выражениях (18) и (19)

$$t_g = \frac{x_B - \bar{x}}{\sigma}; \quad t_n = \frac{x_H - \bar{x}}{\sigma}. \quad (20)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. В соответствии с указаниями преподавателя произвести измерения деталей выборки. Результаты измерений занести в протокол.
2. Определить разность между наибольшим и наименьшим размерами деталей в выборке (размах выборки $R = x_{\max} - x_{\min}$). Разделить R на $f = 5 \dots 8$ интервалов. Найти ширину интервала $a = R / f$.
3. Определить середины интервалов x_i . Подсчитать частоту для каждого интервала. Результаты подсчетов внести в табл.1.
4. Построить гистограмму и эмпирическую кривую распределения размеров (см. рис.1). Масштаб по оси абсцисс принять таким, чтобы величина R соответствовала 120...150 мм, а по оси ординат – таким, чтобы высота эмпирической кривой составляла 0,6...0,7 от ее длины.
5. По формулам (2) и (3) подсчитать выборочное среднее \bar{x} и выборочное среднее квадратическое отклонение S размеров.
6. Пользуясь формулами (7) и (6) и таблицей приложения 1, определить теоретические частоты n_i^T нормального распределения для каждого интервала размеров. Результаты подсчетов занести в табл.1.

7. Вычертить график теоретической кривой нормального распределения, совместив его с графиком эмпирической кривой (рис.1).
8. Произвести проверку соответствия эмпирического распределения размеров теоретическому нормальному. Для этого подсчитать по формуле (8), пользуясь табл.2, значение критерия χ^2 , а по формуле (9) определить число k . Затем по таблице приложения 3 найти вероятность $P(\chi^2)$ и проверить выполнение неравенства $P(\chi^2) > 0,05$. При удовлетворении этого неравенства можно считать, что эмпирическое распределение соответствует нормальному.
9. По формулам (11), (10) найти среднее квадратическое отклонение и поле рассеивания ω_c размеров в партии обрабатываемых деталей.
10. Соблюдая масштаб по оси абсцисс, вычертить кривую нормального распределения размеров в партии деталей (см. рис.2). Нанести на график этой кривой поле допуска и предельные размеры детали по чертежу (данные взять у преподавателя).
11. Определить по формулам (14) и (15) фактическую и допустимую погрешность настройки станка.
12. Выявить, удовлетворяются ли условия (12) и (13) обработки деталей без брака.
13. Пользуясь формулами (18), (19), (20) и таблицей приложения 2, найти вероятный процесс исправимого и неисправимого брака.
14. Предложить мероприятия по повышению точности обработки и снижению брака на данной операции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Технология механической обработки. –Л.: Машиностроение, 1977. –464 с.
2. Точность производства в машиностроении и приборостроении. /Под редакцией Гаврилова А.Н. –М: Машиностроение, 1973. –567 с.
3. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. –Киев.: Техника, 1976. – 200 с.
4. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. –М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.

Значения Z_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	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3856	3847	3836	3825
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3696
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3589	3555	3538
0,5	0,3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3189	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2755	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,2420	2395	2372	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	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	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0552
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
3,0	0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034

Значение функции Лапласа

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,000	0,23	0,0910	0,46	0,1770	0,88	0,3105	1,85	0,4680
0,01	0,004	0,24	0,0950	0,47	0,1810	0,90	0,3160	1,90	0,4715
0,02	0,008	0,25	0,0985	0,48	0,1845	0,92	0,3210	1,95	0,4744
0,03	0,012	0,26	0,1025	0,49	0,1880	0,94	0,3265	2,00	0,4775
0,04	0,016	0,27	0,1065	0,50	0,1915	0,96	0,3315	2,10	0,4820
0,05	0,020	0,28	0,1105	0,52	0,1985	0,98	0,3365	2,20	0,4860
0,06	0,024	0,29	0,1140	0,54	0,2045	1,00	0,3415	2,30	0,4895
0,07	0,028	0,30	0,1180	0,56	0,2125	1,05	0,3530	2,40	0,4920
0,08	0,032	0,31	0,1215	0,58	0,2190	1,10	0,3645	2,50	0,4940
0,09	0,036	0,32	0,1255	0,60	0,2255	1,15	0,3749	2,60	0,4955
0,10	0,040	0,33	0,1295	0,62	0,2325	1,20	0,3850	2,70	0,4965
0,11	0,044	0,34	0,1330	0,64	0,2390	1,25	0,3945	2,80	0,4975
0,12	0,048	0,35	0,1370	0,66	0,2455	1,30	0,4030	2,90	0,4980
0,13	0,0515	0,36	0,1405	0,68	0,2557	1,35	0,4115	3,00	0,4986
0,14	0,0555	0,37	0,445	0,70	0,2580	1,40	0,4190	3,20	0,4993
0,15	0,0595	0,38	0,1480	0,72	0,2640	1,45	0,4265	3,40	0,4996
0,16	0,0635	0,39	0,1515	0,74	0,2705	1,50	0,4330	3,60	0,4998
0,17	0,0675	0,40	0,1555	0,76	0,2765	1,55	0,4395	3,80	0,4999
0,18	0,0715	0,41	0,1590	0,78	0,2825	1,60	0,4450	4,00	0,4999
0,19	0,0755	0,42	0,1630	0,80	0,2880	1,65	0,4505		
0,20	0,0795	0,43	0,1665	0,82	0,2940	1,70	0,4555		
0,21	0,0830	0,44	0,1700	0,84	0,2995	1,75	0,4600		
0,22	0,0870	0,45	0,1735	0,86	0,3050	1,80	0,4640		

Значения χ^2 в зависимости от k и $P(\chi^2)$

k	$P(\chi^2)$									
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02
1	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41
2	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82
3	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25	7,25	9,84
4	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67
5	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39
6	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03
7	2,17	2,83	3,82	4,37	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПО КРИВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Составители доц., канд.техн.наук В.Ф. Скворцов
 доц., канд.техн.наук А.Ю. Арляпов

Подписано к печати

Формат 60x84/16. Бумага писчая № 2.

Плоская печать. Усл. печ. л. . Уч. -изд. л. .

Тираж 100 экз. Заказ № . Цена свободная.

ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ № 1 от 18.07.94.

Ротапринт ТПУ. 634034, г. Томск, пр. Ленина,30

