



**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Технология машиностроения»**

**С. А. Щербаков, Е. Э. Дмитриченко**

# **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**ПРАКТИКУМ**

**по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Основы технологии  
машиностроения» для студентов специальностей  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических  
процессов и производств (по направлениям)»**

**Гомель 2019**

УДК 621.002:658(075.8)  
ББК 34.5я73  
Щ61

*Рекомендовано научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 13.05.2019 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Высшая математика» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. физ.-мат. наук, доц. *Ю. Д. Черниченко*

**Щербаков, С. А.**

Щ61      Статистический анализ точности механической обработки : практикум по выполнению лаборатор. работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения» для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» / С. А. Щербаков, Е. Э. Дмитриченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 45 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Подготовлен в соответствии с типовой программой дисциплины «Технология машиностроения». Основная цель – освоить методики и получить навыки расчетов режимов резания, технического нормирования, определения настроечного размера, проведения статистического анализа точности обработки на металлорежущем станке.

Для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)».

УДК 621.002:658(075.8)  
ББК 34.5я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2019

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

Цель работы: углубленное изучение, практическое выполнение и приобретение навыков расчета режимов резания при одноинструментальной обработке на токарном станке [1] и определения технической нормы времени [1; 2; 3].

#### Оборудование.

1. Токарно-винторезный станок модели 16К20 (16Б16КП).
2. Оправка специальная.
3. Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89.
4. Набор щупов №2 ГОСТ 882-75.
5. Микрометр МК50-1 ГОСТ 6507-90.
6. Резец Т15К6 ГОСТ 18878-73.
7. Набор предварительно обработанных деталей.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы: размер  $L$  с допуском  $T=B-H$  (см. рис. 1) – задает преподаватель; шероховатость  $Ra=3,2$  мкм; точность 11...8 квалитеты; размер  $C=10$  мм; материал – сталь 45; твердость 220 НВ; глубина резания  $t \leq 0,5$  мм; материал режущей части инструмента – твердый сплав Т15К6; главный угол в плане  $\varphi=45^\circ$ ; способ установки заготовки – на плоскость и поджимом центром задней бабки; вид обработки – продольное чистовое точение на проход; модель станка – 16К20 (16Б16КП).

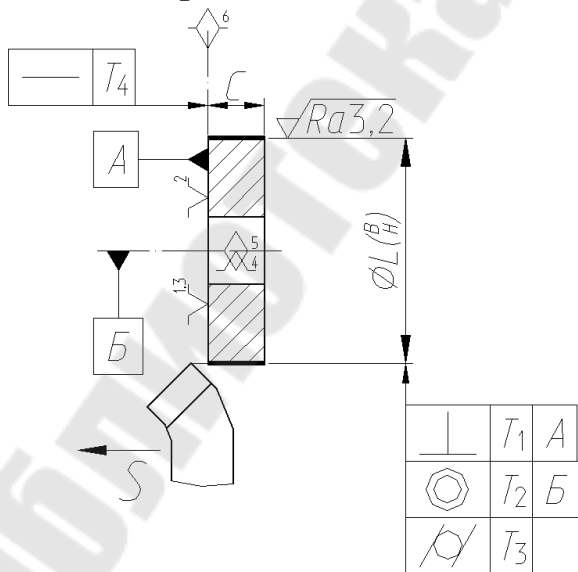


Рис. 1. Схема обработки

Примечание. При обработке точением на токарных станках достигаются средние экономические точность и шероховатость поверхностей [2, с. 150-153]:

- предварительное (черновое) точение 14...12 кв.,  $Ra=6,3$  мкм;
- получистовое точение 12...11 кв.,  $Ra=3,2$  мкм;
- чистовое точение 11...10 кв.,  $Ra=3,2$  мкм;
- тонкое точение 7...6 кв.,  $Ra=0,4$  мкм.

Достижимая точность тонкого токарного обтачивания: 5...6 кв., при шероховатости  $Ra=0,32$  мкм.

## 1. Расчет режимов резания

Для случая, когда станок задан, последовательность расчета режимов резания по методике, изложенной в [1], следующая:

1.1. По главному углу в плане  $\varphi$  резца и принятой глубине резания определяется длина врезания резца по табл. 1 и длина подвода и перебега по табл. 2 [1, с. 299-301].

Таблица 1

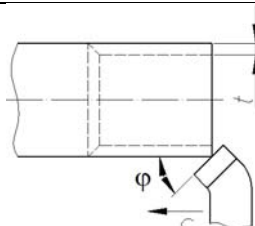
Схема резания	Главный угол в плане $\varphi$	Длина врезания $y_{вр}$					
		$y_{вр}$ при глубине резания $t$ , мм					
		до 1	2	3	4	5	6
	45°	1	2	3	4	5	6
	60°	1	2	2	3	3	4
	70...75°	1	1	1	1	2	2

Таблица 2

Заготовка	Длины подвода $y_{подв}$ и перебега $y_{п}$	
	$y_{подв} + y_{п}$ при точении	
	На проход	В упор
Предварительно обточенная заготовка, прокат	4	2
Поковка, отливка	6	3

1.2. Рассчитывается длина рабочего хода суппорта по формуле

$$L_{рх} = L_{рез} + y + L_{доп}, \quad (1)$$

где  $L_{рез}$  – длина резания (длина обрабатываемой поверхности по чертежу),  $L_{рез}=C$ , мм;

$$y = y_{вр} + y_{подв} + y_{п}, \quad (2)$$

где  $y_{вр}$  – длина врезания, мм (табл. 1);

$y_{подв} + y_{п}$  – сумма длин подвода и перебега, мм (табл. 2).

$L_{доп}$  – дополнительная длина хода, принимаемая в отдельных случаях из-за особенностей наладки и конфигурации детали.

1.3. Назначается подача суппорта на оборот шпинделя  $S_0$ , мм/об, в два этапа:

а) определяется рекомендуемая подача по нормативам [1] (на-пример из табл. 3).

б) уточняется значение подачи  $S'_0$ , которую возможно установить на выбранном станке (например, из табл. 4).

Таблица 3

Рекомендуемые подачи на оборот шпинделя

Материал заготовки	Черновая обработка $S_0$ суппорта, мм/об, при суммарной глубине $(\Sigma t + \Sigma b)$ , мм					Чистовая обработка при $Ra \leq 2,5$ мкм и $r \geq 1,0$ мм
	до 3	5	10	20	40	
Сталь	0,6	0,4	0,30	0,25	0,20	0,12...0,20
Чугун	0,8	0,6	0,45	0,35	0,25	0,15

Примечание – ширина среза  $b = t / \sin \varphi$ , мм.

Рекомендуемая подача на оборот  $S_0$  выбирается из табл. 3. Так как обработку на станке возможно производить только с подачами, которые позволяет установить его коробка подач, то необходима информация о значениях фактических подач на оборот шпинделя  $S_0$  из паспорта станка. Для некоторых токарных станков такая информация содержится в табл. 4.

При чистовой обработке на станке устанавливается меньшая из ближайших подач, имеющих у станка по отношению к подаче, рекомендуемой табл. 3, а при черновой – ближайшая из имеющих у станка.

Таблица 4

Значения продольных подач для чистовой обработки некоторых токарных станков

Модель	Ступени продольных подач $S'_0$ , мм/об									
1М61	0,080	0,090	0,110	0,130	0,15	0,170	0,21	0,250	0,29	0,33
1А62	0,082	0,088	0,100	0,110	0,12	0,130	0,14	0,150	0,16	0,18
1К62	0,070	0,074	0,084	0,097	0,11	0,120	0,13	0,140	0,15	0,17
16К20	0,050	0,060	0,075	0,090	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,25
16Б16КП	0,050	0,060	0,070	0,080	0,10	0,120	0,15	0,170	0,20	0,25

1.4. Определяется стойкость инструмента в минутах времени резания. [1, с. 26, 27] Стойкость каждого инструмента наладки в минутах резания  $T_p$  определяется по формуле

$$T_p = T_m \cdot \lambda, \quad (3)$$

где  $T_m$  – стойкость в минутах машинной работы, зависит от числа инструментов в наладке и равномерности их загрузки, при работе на одношпиндельных станках одним инструментом в наладке  $T_m = 50$  мин.;

$\lambda$  – коэффициент времени резания.

$$\lambda = L_{\text{рез}}/L_{\text{рх}}. \quad (4)$$

1.5. Рассчитывается скорость резания  $V$ , м/мин. [1, с. 29-34]

$$V = V_{\text{т}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (5)$$

где  $V_{\text{т}}$  – табличное значение скорости резания, м/мин. (табл. 5);  
 $K_1$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала (табл. 6);

$K_2$  – коэффициент, зависящий от стойкости инструмента и марки твердого сплава (табл. 7);

$K_3$  – коэффициент, зависящий от вида обработки: для наружного точения  $K_3=1,0$ ; для растачивания, при диаметре расточки меньше 75 мм,  $K_3=0,85$ ; для поперечного точения, при отношении

$\frac{d_{\text{min}}}{d_{\text{max}}}$	0...0,4	0,5...0,7	0,8...1,0
$K_3$	1,35	1,20	1,05

Таблица 5

Табличное значение скорости резания

$t$ , мм до	$S_0$ , мм/об до	Скорость резания $V_{\text{т}}$ , м/мин., при угле в плане $\phi$		
		45°	60°	90°
1,0	0,2	160	160	160
	0,3	150	150	150
	0,4	135	135	135
	0,5	130	130	130
	0,6	125	125	125
	0,8	120	120	120

Примечание – Таблица составлена для обработки стали резцом с твердым сплавом.

Таблица 6

Коэффициент  $K_1$

Материал инструмента	Марка стали 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50 при твердости НВ до					
	156	207	229	269	302	321
Твердый сплав	1,35	1,0	0,9	0,75	0,7	0,65

Таблица 7

Коэффициент  $K_2$

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	$K_2$ при стойкости $T_p$ в минутах резания				
		до 30	60	100	200	300
Сталь	T15K6	2,00	1,55	1,25	0,90	0,75
	T14K8	1,60	1,25	1,00	0,70	0,60
	T5K10	1,25	1,00	0,80	0,55	0,50

1.6. Частота вращения шпинделя рассчитывается по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (6)$$

где  $V$  – скорость резания, рассчитанная по (5), м/мин.;

$d$  – диаметральный размер обрабатываемой поверхности, мм.

После получения рассчитанного значения частоты вращения  $n$ , оно уточняется по паспортным данным станка (табл. 8), то есть принимается ближайшее меньшее значение  $n'$  из ряда частот вращения шпинделя станка, на котором производится обработка. Это значение частоты вращения устанавливают рукоятками коробки скоростей станка, и именно оно будет обеспечивать реальную скорость резания  $V'$ . Поэтому по установленной частоте вращения  $n'$  пересчитывают скорость резания  $V'$ , с которой будет производиться обработка заготовки

$$V' = \frac{\pi \cdot d \cdot n'}{1000}. \quad (7)$$

Таблица 8

Некоторые частоты вращения шпинделей токарных станков

Модель	Частоты вращения шпинделей $n'$ , мин <sup>-1</sup>											
	1200	960	770	670	600	480	380	305	230	184	150	120
1А62	1200	960	770	670	600	480	380	305	230	184	150	120
1К62	2000	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160
16К20	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160	125
16Б16КП	2000	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160

Примечание – Меньшие значения частоты вращения не приведены.

Далее должна производиться проверка установленного на станке режима резания по крутящему моменту и мощности станка. В лабораторной работе она не проводится, так как для принятых исходных данных обработки момент и мощность резания заведомо обеспечиваются лабораторными станками.

## 2. Техническое нормирование

Под технической нормой времени в машиностроении понимается время, необходимое на выполнение операции в заданных организационно-технических условиях.

Определяется норма времени на операцию по [2, с. 101-105] в такой последовательности:

1. Определение нормы основного (машинного) времени  $T_o$ .
2. Определение вспомогательного времени  $T_B$ .

3. Определение оперативного времени  $T_{оп}$ .
4. Определение времени на обслуживание рабочего места  $T_{об}$ .
5. Определение времени на отдых и личные потребности  $T_{от}$ .
6. Определение штучного времени  $T_{шт}$

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{от}. \quad (8)$$

7. Определение подготовительно-заключительного времени  $T_{пз}$ .
8. Определение штучно-калькуляционного времени  $T_{шк}$

$$T_{шк} = T_{шт} + T_{пз}/K, \quad (9)$$

где  $K$  – количество деталей в партии, одновременно запускаемой в производство.

### 2.1. Определение нормы основного времени [1].

Под основным временем понимается время, необходимое на непосредственное изменение геометрической формы, размеров или состояния поверхности обрабатываемой заготовки. Для точения в один проход

$$T_o = \frac{L_{рх}}{S'_m} = \frac{L_{рх}}{S'_o \cdot n'}, \quad (10)$$

где  $L_{рх}$  – длина рабочего хода, мм;  
 $S'_m$  – минутная подача  $S'_m = S'_o \cdot n'$ , мм/мин.;  
 $S'_o$  – установленная на станке подача на оборот шпинделя, мм/об;  
 $n'$  – установленная на станке частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>.

Для точения в несколько проходов

$$T_o = \sum_{i=1}^m \frac{L_{рxi}}{S'_{oi} \cdot n'_i}, \quad (11)$$

где  $L_{рxi}$  – длина рабочего хода в  $i$ -ом проходе, мм;  
 $m$  – общее количество неперекрываемых проходов на данной операции (выполняемых на данном станке).

### 2.2. Определение вспомогательного времени.

Вспомогательным временем  $T_v$  называется время, затрачиваемое на различные приемы, обеспечивающие выполнение основной работы. Вспомогательное время зависит от факторов, влияющих на его продолжительность, в станочных работах подразделяется на:

- $T_y$  – на установку и снятие детали;
- $T_{3.0}$  – время на закрепление и открепление детали;
- $T_{п}$  – связанное с переходом (управление механизмами станка);



пуск, остановка, переключение частоты вращения шпинделя и подачи, перемещение суппорта на ускоренном ходу и т.д.);

-  $T_k$  – на контрольные промеры обрабатываемых поверхностей.

$$T_B = T_y + T_{3.0} + T_{\Pi} + T_k. \quad (12)$$

Значения составляющих  $T_B$  можно найти в [2; 3]. При выполнении лабораторной работы  $T_B$  (вспомогательное непрерывное) может быть рассчитано по данным из [2, с. 197-209].

2.3. Оперативное время  $T_{оп}$  определяется как сумма основного и вспомогательного (непрерывного) времени

$$T_{оп} = T_o + T_B. \quad (13)$$

2.4. Определение времени на обслуживание рабочего места  $T_{об}$ .

Некоторые источники называют сумму времени на обслуживание рабочего места  $T_{об}$  и времени на отдых и физиологические потребности  $T_{от}$  дополнительным временем  $T_{доп}$

$$T_{доп} = T_{об} + T_{от}. \quad (14)$$

Время обслуживания  $T_{об}$  является временем, которое затрачивается рабочим на уход за рабочим местом на протяжении рабочей смены

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг}, \quad (15)$$

где  $T_{тех}$  – время технического обслуживания, то есть время, затрачиваемое рабочим на уход за рабочим местом при выполнении данной конкретной работы, отнесенное к данной операции. Сюда входит время на смену затупившегося инструмента, правку круга алмазным карандашом, на сметание стружки в процессе работы и т.п. Считают  $T_{тех}$  в процентах к  $T_o$  [2, с. 212];

$T_{орг}$  – время организационного обслуживания – это время, затрачиваемое рабочими на уход за рабочим местом преимущественно в начале и конце рабочей смены. Сюда относится время на раскладку и уборку рабочего и вспомогательного инструмента (ключи, подкладки под резцы и т.п.) в начале и конце смены, время на чистку и смазку станка в конце рабочей смены и время на осмотр и апробирование станка в начале смены. Считают  $T_{орг}$  в процентах к  $T_{оп}$  [2, с. 212].

2.5. Время перерывов на отдых и физиологические потребности  $T_{от}$  принимается в процентах к  $T_{оп}$  [2, с. 213].

2.6. Определение штучного времени  $T_{шт}$  по формуле (8)

2.7. Определение подготовительно-заключительного времени.

Подготовительно-заключительным временем  $T_{пз}$  называется время, затрачиваемое на ознакомление с чертежом и технологическим процессом, время необходимое на наладку станка, инструмента и приспособлений для выполнения данной работы, а также время на снятие инструмента и приспособлений, на все приемы, связанные с окончанием данной работы. Для нашего случая  $T_{пз}$  можно определить по [3, карта 19] или [2, с. 215-216].

2.8. Определение штучно-калькуляционного времени по формуле (9).

#### Порядок выполнения лабораторной работы №1

1. Работа оформляется в тетради для лабораторных работ с выполнением всех разделов.

2. Для выполнения лабораторной работы требуется: токарно-винторезный станок, заготовки для изготовления дисков, деталь-эталон, микрометр, набор щупов, резец с пластинкой из твердого сплава Т15К6 и геометрическими параметрами:  $\varphi=45^\circ$ ;  $\gamma=5^\circ$ ;  $\alpha=12^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi_1=45^\circ$ ;  $r=1,0$  мм.

3. Производится расчет режимов резания, для заданного преподавателем диаметра детали (например,  $\varnothing 34h10$ ).

4. Определяется техническая норма времени (см. раздел 2).

#### Контрольные вопросы к лабораторной работе №1

1. Что относится к элементам режима резания?
2. Какова последовательность расчета режимов резания в общем случае?
3. Что относится к характеристикам режущего инструмента, и исходя из чего они выбираются?
4. Какова последовательность расчета режимов резания для случая, когда станок известен?
5. Как устанавливается глубина резания  $t$ ?
6. Как рассчитывается длина рабочего хода  $L_{рх}$ ?
7. Как выбираются подачи из таблиц справочников?
8. Какие подачи используют в расчетах режимов резания, основного времени?
9. Какие подачи устанавливают на станках?
10. Как рассчитывается скорость резания  $V$ ?
11. Как устанавливается подача с учетом кинематики станка?
12. Как устанавливается рассчитанная частота вращения шпин-

деля выбранного станка?

13. Что называется технической нормой времени, и в какой последовательности она определяется?

14. Как определяется основное (машинное) время  $T_o$ , для чего оно предназначено?

15. Что такое вспомогательное время  $T_v$ , и на что оно дается?

16. Что такое оперативное время?

17. Что включает в себя время обслуживания, отдыха?

18. Как рассчитывается штучное время?

19. На что отводится время  $T_{пз}$ ?

20. Как определяется штучно-калькуляционное время?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСТРОЕЧНОГО РАЗМЕРА ПРИ ТОЧЕНИИ

Цель работы: изучение, практическое выполнение и приобретение умений и навыков определения настроечного размера диаметра при наружном точении.

#### Настройка.

Под настройкой понимают процесс установки и закрепления технологической оснастки (приспособлений, режущего инструмента, упоров, кулачков, других устройств и т.д.) для обеспечения необходимого взаимного положения обрабатываемой детали и инструмента, при котором выдерживается заданная точность обработки. Под точностью (параметрами точности) обработки понимается соответствие требованиям чертежа (операционного эскиза) допусков, размеров, геометрической формы, взаимного расположения баз и обрабатываемых поверхностей, степени их шероховатости. Например, параметрами точности (ПТ) обрабатываемой детали на рис. 1, будут размер  $L$  с допуском  $T=B-H$ , допуски взаимного расположения  $T_1$ ,  $T_2$ , допуски формы  $T_3$ ,  $T_4$  и шероховатость  $Ra$  3,2.

Заданную операционным эскизом или чертежом детали точность обработки можно достичь одним из двух принципиально отличных методов: пробных рабочих ходов с промерами; или методом автоматического получения ПТ на настроенных станках.

Для условий единичного и мелкосерийного производства, в основном, требуемая точность достигается обработкой по разметке, на универсальном оборудовании, рабочими высокой квалификации методом пробных ходов и промеров. При этом они решают следующие задачи настройки:

- 1) установление оптимальных режимов работы станка;
- 2) установка приспособлений и режущих инструментов в положение, обеспечивающее оптимальные условия обработки, требуемые параметры точности и качество обработанных поверхностей.

В крупносерийном и массовом типах производства требуемую точность, в основном, достигают методом автоматического получения размеров на настроенных станках, или на станках в адаптивном управлении (автоматической поднастройкой режущего инструмента на заданные ПТ). Поэтому к двух вышеназванным задачам настройки добавляется третья задача:

- 3) установление и обеспечение точности взаимного расположения режущих инструментов, приспособлений, кулачков, упоров, копиров и других устройств, определяющих величину и траекторию перемещения инструментов в процессе обработки поверхностей детали. Эта третья задача является наиболее ответственной, и для ее решения требуется проведение специальных расчетов.

Существует два метода настройки: статическая настройка и динамическая.

При статической настройке режущий инструмент устанавливается по различным калибрам и эталонам на неподвижном (неработающем) станке. Часто для этого применяют деталь-эталон, которую устанавливают на место обрабатываемой детали. С ней приводят в соприкосновение режущий инструмент, после чего его закрепляют.

Размер обработанной детали, к получению которого надо стремиться при настройке, получил название «настроечного размера». Чтобы получить рабочие настроечные размеры при обработке вала, необходимо иметь деталь-эталон с несколько меньшими размерами, чем номинальные размеры, заданные на чертеже детали. Величины уменьшения охватываемых поверхностей или увеличения охватываемых поверхностей эталонов будут зависеть от жесткости технологической системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь), режимов резания, стабильности припусков и других факторов, которые придают этим величинам случайные значения (разбросы значений). Поэтому статическую настройку обычно дополняют дина-

мической настройкой, корректирующей положение инструментов и упоров при обработке первых деталей партии.

Динамическая настройка может осуществляться двумя способами:

1) настройка по пробным деталям, измеряемым рабочим калибром;

2) настройка по пробным деталям, размеры которых измеряются с помощью универсального мерительного инструмента.

Целями настройки являются:

1) получение требуемой точности обрабатываемой детали;

2) получение возможно большего количества годных деталей, обработанных до первой поднастройки системы СПИД.

Для достижения этих целей необходимо правильно разместить возможное для данной системы СПИД поле рассеяния, порождаемое совокупным действием случайных факторов относительно границ заданного поля допуска. Для этого прежде всего необходимо знать, к получению какого размера необходимо стремиться при настройке (к получению максимального, минимального, или какого-либо другого из допустимых размеров), то есть необходимо знать значение настроечного размера.

Определение и уточнение настроечного размера производится в следующей последовательности:

1. При **статической настройке** для компенсации изменения фактических размеров обрабатываемых заготовок, вызванного деформациями системы СПИД, установочные калибры или эталонные детали изготавливают с отступлением от размеров чертежа на величину некоторой поправки  $\Delta_{\text{попр}}$ . Расчетный размер установочного эталона для настройки на неподвижном станке определяется по формуле

$$L_{\text{эт}} = L_{\text{н}} \pm \Delta_{\text{попр}}, \quad (16)$$

где  $L_{\text{эт}}$  – размер эталонной детали (установочного калибра);

$L_{\text{н}}$  – настроечный размер, который должен быть получен после обработки заготовки. Обычно статическая настройка производится на середину поля допуска номинального размера

$$L_{\text{н}} = (L_{\text{max}} + L_{\text{min}})/2, \quad (17)$$

где  $L_{\text{max}}$ ,  $L_{\text{min}}$  – наибольший и наименьший предельные размеры поверхностей по чертежу;

$\Delta_{\text{попр}}$  – поправка, учитывающая деформацию конкретной технологической системы СПИД и шероховатость поверхности эталонной детали.

В формуле (16)  $\Delta_{\text{попр}}$  берется со знаком плюс для охватывающих, а со знаком минус для охватываемых поверхностей и равна:

- для односторонней обработки (строгание, плоское шлифование и т.п.)

$$\Delta_{\text{попр}} = A_1 + A_2 + A_3; \quad (18)$$

- для двусторонней обработки (точение, круглое или внутреннее шлифование и т.п.)

$$\Delta_{\text{попр}} = 2 \cdot (A_1 + A_2 + A_3), \quad (19)$$

где  $A_1$  – элемент поправки, учитывающий деформацию от сил резания

$$A_1 = P_y / j, \quad (20)$$

где  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания, Н;

$j$  – жесткость технологической системы СПИД, Н/мм;

$A_2$  – элемент поправки, учитывающий образующуюся в процессе обработки шероховатость заготовки. Так как положение резца в точке соприкосновения его вершины с поверхностью эталона будет определять положение впадин профиля поверхности заготовки, а измерение размера производится по выступам профиля, то

$$A_2 = Rz = \left( \sum_{i=1}^5 Y_{pmi} + \sum_{i=1}^5 Y_{vmi} \right) / 5, \quad (21)$$

где  $Y_{pmi}$  – высота  $i$ -го выступа профиля в пределах базовой длины, т.е. расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа, мкм;

$Y_{vmi}$  – глубина  $i$ -ой впадины профиля в пределах базовой длины, т.е. расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины, мкм;

$A_3$  – элемент поправки, учитывающий половину диаметрального зазора в подшипниках шпинделя, на которую смещается шпиндель силой резания. Для токарных станков обычной точности  $A_3=0,04$  мм, для токарных станков повышенной точности  $A_3=0,02$  мм.

Очевидно, что величина  $\Delta_{\text{попр}}$  не является стабильной, а зависит от многих факторов, как перечисленных, так и других неучтенных, которые вносят элемент случайности при экспериментальных исследованиях определения номинальных размеров эталонных деталей для настройки. Статистическая обработка экспериментальных данных исследований дает следующие средние значения для  $\Delta_{\text{попр}}$  [4, с. 108]. При обработке на станках нормальной точности для заготовок с шероховатостью  $Rz=10$  мкм поправка  $\Delta_{\text{попр}}=0,106$  мм; при обработке на

станках повышенной точности с шероховатостью  $Rz=6,3$  мкм –  $\Delta_{\text{погр}}=0,042$  мм. Причем погрешность определения поправки достигает 50% ее математического ожидания. Поэтому, а также из-за дополнительных погрешностей статической настройки (погрешность установки эталона, погрешность установки резца по эталону), она обычно не создает условий для получения точности заготовок выше 8...9 классов.

Однако значительное сокращение продолжительности настройки станков при установке инструментов по эталонам, особенно при многолезвовой обработке, предопределяет широкое распространение этого метода в крупносерийном и массовом производстве. К числу больших преимуществ этого метода следует отнести возможность настройки инструментальных блоков по эталонам на специальных оптических устройствах. Это значительно повышает точность настройки и сокращает время простоя станков при настройке.

Статическую настройку необходимо дополнять динамической настройкой, производя добавочное регулирование положения элементов технологической системы СПИД (инструментов, упоров и т.п.) при обработке первых заготовок партии.

2. При **динамической настройке** необходимо придать наиболее выгодное положение элементам технологической системы. Но для этого необходимо знать какое значение настроечного размера будет соответствовать этому наиболее выгодному положению. Чтобы решить эту задачу, представим, что может происходить, и что происходит при обработке партии заготовок на настроенном станке.

Предположим, что на некотором настроенном станке установленное положение элементов СПИД обеспечивает получение после обработки у  $i$ -ой заготовки какого-то размера  $L_i$ . Из-за влияния многочисленных факторов на процесс обработки размеры заготовок не будут одинаковыми. То есть размеры  $L_i$  будут изменяться с течением времени. Но изменение размеров  $L_i$ , разрешенное чертежом, может происходить только в пределах технологического допуска  $T$ , расположенного между наименьшим  $L_{\min}$  и наибольшим  $L_{\max}$  предельными размерами для номинального размера  $L$ , заданного на чертеже.

Одни факторы приводят к систематическому изменению размеров  $L_i$ . К ним относятся закономерно изменяющиеся: износ инструмента, температурные деформации из-за изменяющегося нагрева узлов станка, переменная жесткость системы СПИД из-за изменения положения точки действия сил резания на деталь и т.п. Влияние этих

факторов можно рассчитывать. При первоначальной настройке это влияние можно учесть, а с течением времени производят поднастройки, компенсирующие вызванное систематическими факторами изменение размеров  $L_i$ .

Другие факторы имеют случайный характер воздействия на процесс обработки в пределах своих допусков (различные значения припуска; колебания в твердости поверхности; погрешности установки положения суппортов по упорам, концевым выключателям и т.п.; колебания температурного режима, упругих деформаций из-за нестабильности сил резания и т.д.), а значит оказывают суммарное различное влияние на образующийся в результате обработки размер  $L_i$ .

В процессе обработки партии заготовок случайные факторы вызывают непрерывное колебание образующихся размеров в определенных границах. Значения размеров  $L_i$  отличаются друг от друга и от настроенного размера на величину случайной погрешности. То есть фактический размер каждой заготовки из партии, обработанной на настроенном станке, является случайной величиной и может принимать любое значение в границах определенного интервала. Чтобы определить границы этого интервала, и узнать каким образом они соотносятся с границами технологического допуска, нужно знать закон распределения случайной величины – фактического размера, получающегося в результате обработки на настроенном станке.

При разных условиях обработки заготовок рассеяние их фактических размеров подчиняется различным законам распределения. Законом распределения случайной величины называется математическая зависимость связи между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями (частотами) появления. В технологии машиностроения большое практическое значение имеют следующие законы: нормального распределения (закон Гаусса), равнобедренного треугольника (закон Симпсона), эксцентриситета (закон Релея), равной вероятности, а также функции распределения, являющиеся композициями этих законов [4, с. 46-56].

Исследования, проведенные профессорами А.Б. Яхиным, А.А. Зыковым и др., показали, что поля рассеяния размеров заготовок, обработанных на настроенном станке, очень часто подчиняются закону нормального распределения. Приняв это утверждение в качестве гипотезы, возможно решить задачу об определении настроенного размера и вероятном количестве годных и бракованных заготовок в обработанной партии при заданном поле допуска  $T$  номинального раз-



мера  $L$ . Закон нормального распределения для этой задачи записывается функцией распределения

$$Y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_i - L_{\text{ср}})^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (22)$$

где  $L_i$  – фактический размер  $i$ -ой заготовки;

$L_{\text{ср}}$  – математическое ожидание размеров заготовок партии бесконечного объема (всей генеральной совокупности);

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение (для генеральной совокупности) фактических размеров от математического ожидания.

График функции нормального распределения называют кривой нормального распределения (рис. 2). Известно, что площадь под кривой равна единице (полной вероятности), ее ветви простираются в бесконечность, как для положительных, так и для отрицательных значений отклонений фактических значений размеров от  $L_{\text{ср}}$ . Вероятность отклонений по модулю от  $L_{\text{ср}}$  больше, чем на  $\pm 3 \cdot \sigma$  равна 0,0027 (0,27%). Поэтому на практике считают, что предельный разброс фактических размеров, или поле их рассеяния  $\omega$  равно  $6 \cdot \sigma$ , т.е.

$$\omega = 6 \cdot \sigma. \quad (23)$$

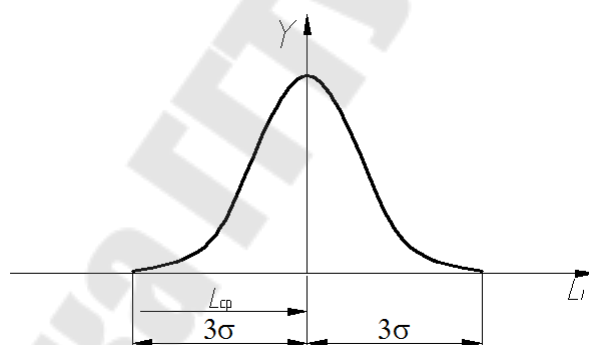


Рис. 2. Кривая нормального распределения

Если поле допуска  $T > 6 \cdot \sigma$ , то возможна обработка без брака. Причем, настроечный размер можно выбирать таким, чтобы в поле допуска могли компенсироваться и систематические погрешности (рис. 3, а). Если же  $T < 6 \cdot \sigma$ , то обработка без брака невозможна. И технологу предстоит либо уменьшить значение  $\sigma$  (произвести замену оборудования, или ввести дополнительную обработку, что уменьшит влияние случайных факторов, а, следовательно, и значение  $\sigma$ ), либо разместить поле рассеяния так, чтобы перевести весь брак в исправимый (рис. 3, б). В последнем случае придется производить контроль всех заготовок и дообработку той их части, у которых размеры пре-

вышают  $L_{\max}$ .

Из приведенных рассуждений видно, что настроечный размер должен совпадать с математическим ожиданием  $L_{\text{cp}}$ , отстоящим на  $3 \cdot \sigma$  от  $L_{\text{min}}$  (для охватываемых поверхностей) или на  $3 \cdot \sigma$  от  $L_{\text{max}}$  (для охватываемых поверхностей). Но на практике при настройке неизвестны ни  $L_{\text{cp}}$  ни  $\sigma$ . А чтобы узнать их значения вначале нужно было бы произвести математическую обработку всех значений фактических размеров заготовок, что невыполнимо, в генеральной совокупности, которая имеет бесконечное число единиц отбора.

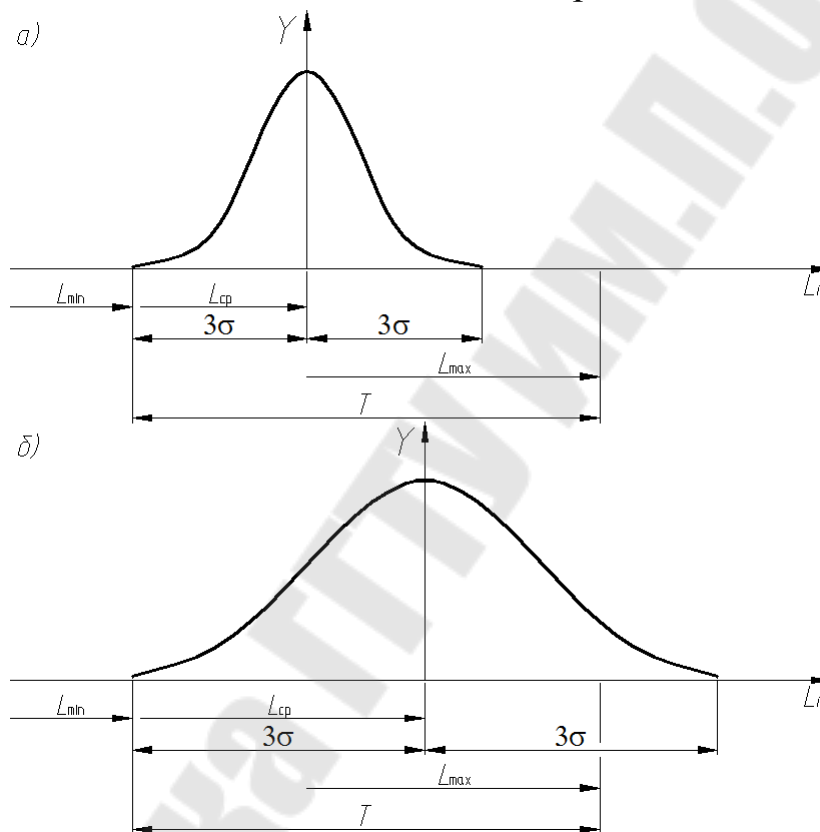


Рис. 3. Примеры расположения полей рассеяния и допуска

Чтобы найти оценки  $L_{\text{cp}}$  и  $\sigma$  производят выборки из генеральной совокупности и определяют выборочные  $L'_{\text{cp}}$  и  $\sigma'$ , которые являются приблизительными оценками  $L_{\text{cp}}$  и  $\sigma$ . По закону больших чисел, чем больше объемы произведенных выборок, тем меньше отличаются выборочные оценки  $L'_{\text{cp}}$  и  $\sigma'$  от  $L_{\text{cp}}$  и  $\sigma$  генеральной совокупности. Для выполнения динамической настройки профессор Яхин рекомендует производить предварительную обработку  $m=2 \dots 8$  заготовок. После этого рассчитывают оценки

$$L'_{cp} = \sum_{i=1}^m L_i / m; \quad (24)$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (L_i - L_{cp})^2}{m}}, \quad (25)$$

где  $m$  – число заготовок в выборке для первоначальной обработки.

Рассчитав выборочные оценки  $L'_{cp}$  и  $\sigma'$ , следует учесть, что сама оценка  $L'_{cp}$ , как сумма случайных величин  $L_i$ , также является случайной величиной со средним квадратическим отклонением

$$\bar{\sigma} = \sigma' / \sqrt{m}, \quad (26)$$

где  $\bar{\sigma}$  – среднее квадратическое отклонение выборочной средней  $L'_{cp}$ . И хотя математическое ожидание (центр группирования) выборочных средних совпадает с центром группирования генеральной совокупности, значение  $L'_{cp}$ , полученное по формуле (24), имеет разброс в пределах  $6 \cdot \bar{\sigma}$ . Поэтому конкретное значение  $L'_{cp}$  (см. рис. 4) может отличаться от  $L_{cp}$  в пределах  $3 \cdot \sigma' / \sqrt{m}$ .

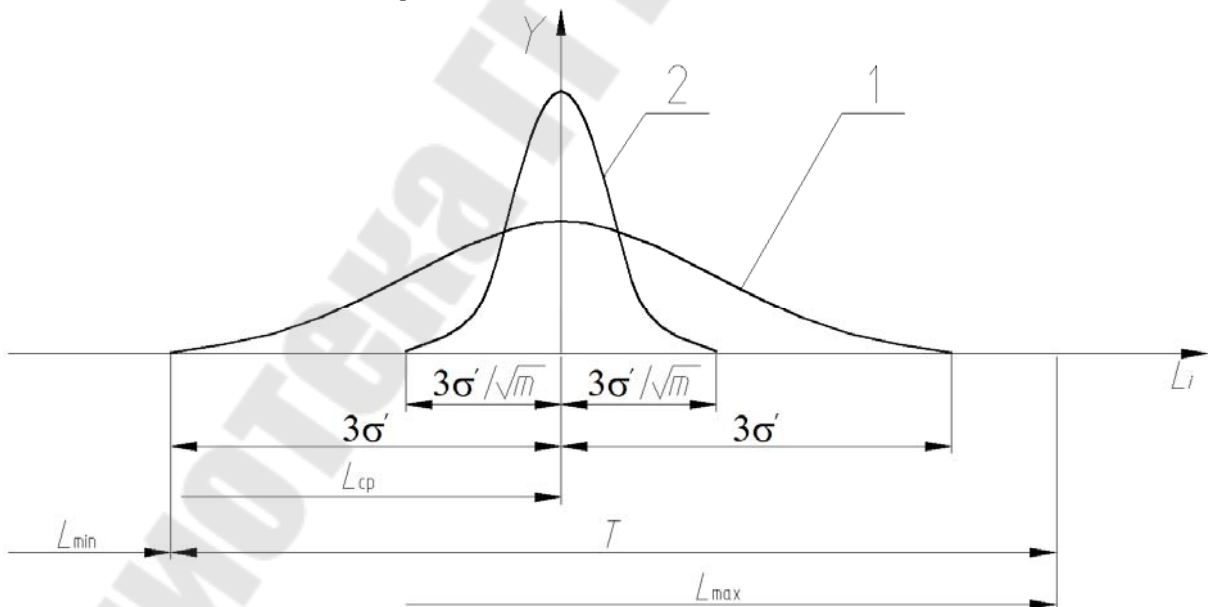


Рис. 4. Расположение кривых распределения фактических размеров в генеральной совокупности 1 и центра группирования в выборочных исследованиях 2

Из рис. 5 видно, что обработка без неисправимого брака будет возможна в том случае, если минимальный настроечный размер будет

равен

$$L_{\min}^H = L_{\min} + 3 \cdot \sigma' + \frac{3 \cdot \sigma'}{\sqrt{m}} = L_{\min} + 3 \cdot \sigma' \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (27)$$

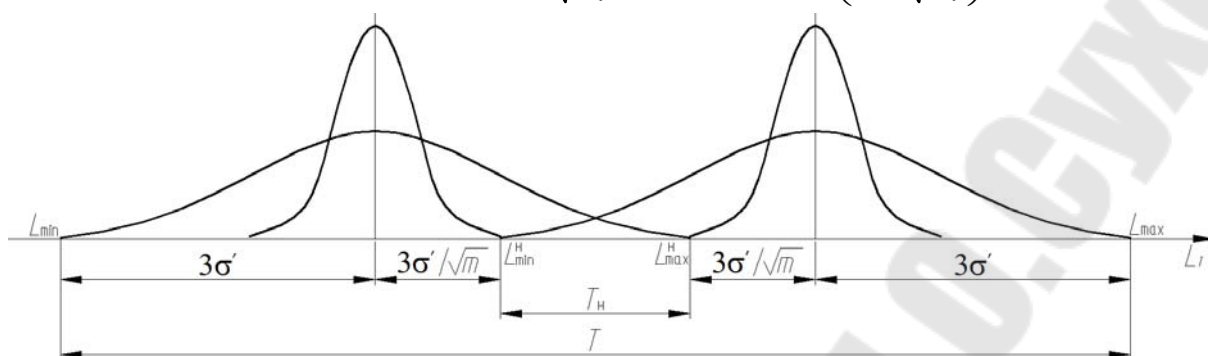


Рис. 5. Схема определения минимального и максимального настроечных размеров

Если же предположить, что кроме случайных погрешностей при обработке будут и систематические, то в формулу (27) следует дополнительно ввести возможную величину погрешности  $a$

$$L_{\min}^H = L_{\min} + a + 3 \cdot \sigma' \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (28)$$

где  $a$  – дополнительная величина погрешности (обычно принимается равной цене деления измерительного устройства).

Перенеся мысленно кривую нормального распределения вправо на рис. 5 к  $L_{\max}$ , можно записать формулу для определения максимально возможного настроечного размера  $L_{\max}^H$ , не превышение которого гарантирует отсутствие исправимого брака

$$L_{\max}^H = L_{\max} - a - 3 \cdot \sigma' \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (29)$$

Если поле допуска  $T$  таково, что значение  $L_{\max}^H$ , рассчитанное по формуле (29), окажется меньше  $L_{\min}^H$ , рассчитанного по формулам (27) и (28), то это свидетельствует о его чрезмерной узости и невозможности обработки без брака. Кроме того в этом случае нельзя говорить о возможной величине допуска на настройку  $T_H$ , равной

$$T_H = L_{\max}^H - L_{\min}^H = T - 6 \cdot \sigma' \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \quad (30)$$

так как она будет иметь отрицательное значение. Поэтому в этом случае при настройке следует пользоваться только значением  $L_{\min}^H$  и учитывать неизбежность появления исправимого брака. Это является

свидетельством целесообразности введения дополнительной обработки (уточнения) обрабатываемой поверхности.

Если же поле допуска  $T$  достаточно велико, то и  $T_H$  может получиться слишком большим, значительно превышающим те значения, которые могут быть обеспечены устройствами регулировки. В этом случае, оставляя необходимую часть  $T_H$  для обеспечения номинального настроечного размера динамической настройки

$$L_{д}^H = (L_{\max}^H + L_{\min}^H) / 2, \quad (31)$$

оставшуюся его часть  $b$  (рис. 6) можно использовать для компенсации переменных систематических погрешностей. При этом формула для максимального настроечного размера будет

$$L_{\max}^H = L_{\max} - b - 3 \cdot \sigma' \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \quad (32)$$

где  $b$  – часть поля допуска для компенсации систематических погрешностей (см. рис. 5 и рис. 6).

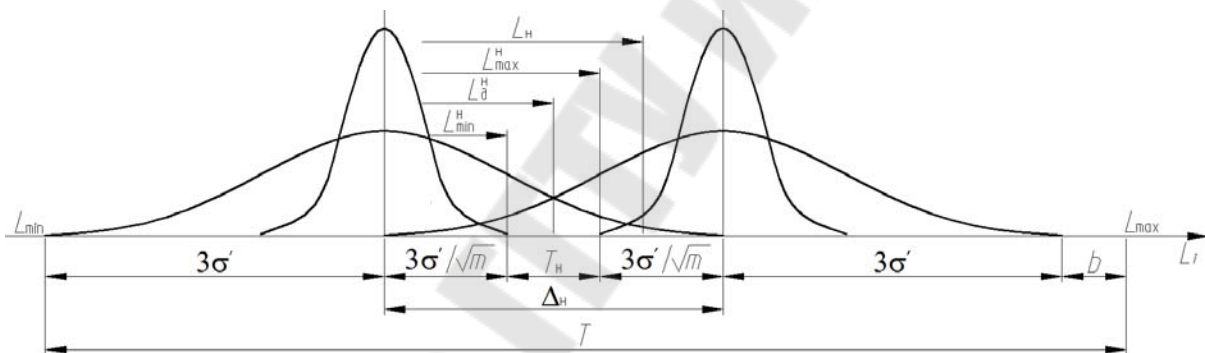


Рис. 6. Схема расположения настроечных размеров для компенсации систематических погрешностей в пределах поля допуска

Допуск настройки  $T_H$  представляет собой разрешенное колебание настроечного размера  $L_H$ , не приводящее к появлению брака. Эти колебания могут вызываться погрешностями регулирования положения инструмента и измерения обработанной заготовки, т.е.

$$T_H = 1,2 \cdot \sqrt{\Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2}, \quad (33)$$

где  $\Delta_{\text{рег}}$  – погрешность регулирования (при упрощенных расчетах принимается равной цене деления регулировочного устройства, или предельной погрешности мерительного инструмента, с помощью которого регулируют положение режущего инструмента;

$\Delta_{\text{изм}}$  – погрешность измерения пробных заготовок по которым производится настройка (обычно принимается равной цене деле-

ния используемого измерительного устройства).

Погрешность настройки  $\Delta_n$  превышает величину допуска настройки  $T_n$  на величину

$$\Delta_{см} = \frac{6 \cdot \sigma'}{\sqrt{m}}, \quad (34)$$

представляющую собой поле возможного смещения положения центров группирования из-за разброса значений оценок  $L'_{ср}$ , определенных по пробной партии  $m$  заготовок для динамической настройки. Формула для оценки погрешности настройки  $\Delta_n$  будет равна

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2 \cdot \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_{см}^2}. \quad (35)$$

Следует особо принять во внимание, что при расчетах все значения, представленные в формулах (24)-(35), за исключением  $m$ ,  $L_{min}$ ,  $L_{max}$  и  $T$ , которые задаются, являются оценками случайных величин, и говорить о конкретных числах можно, только учитывая вероятность их появления. Изучением случайных величин занимается математическая статистика. Оценки случайных величин определяются для конкретных условий выполнения операций по фактическим значениям полей рассеяния или приближенно по справочникам, литературным и статистическим данным.

## Порядок выполнения лабораторной работы №2

Оборудование, схема обработки и режимы резания принимаются из лабораторной работы №1.

1. Установить на станке режимы резания, рассчитанные в п.1 лабораторной работы №1.

2. Для получения эталона устанавливается заготовка и обрабатывается в размер, меньший на  $0,1 \dots 0,3$  мм, чем  $L_n$ , определенный с использованием зависимости (17). Например, для  $\varnothing 34h10$  ( $L_{max}=34,0$ ;  $L_{min}=33,9$ ) рассчитанное значение  $L_n$  будет:  $L_n=(34,0+33,9)/2=33,95$  мм.

3. Производится статическая настройка станка по размеру эталона, который не снимается со станка, с помощью универсального мерительного инструмента – микрометра и набора щупов следующим образом:

- после обработки радиальное положение резца не изменяется (резец отводится от детали только в продольном направлении);
- измеряется размер детали-эталона  $L_э$ , полученный после обработки, и сравнивается с настроенным размером  $L_n$  (см. рис. 7);
- рассчитывается необходимая величина смещения положения

вершины резца  $S$  (толщина щупа) для получения настроечного размера  $L_H$  по формуле  $S=(L_H - L_3)/2$ ;

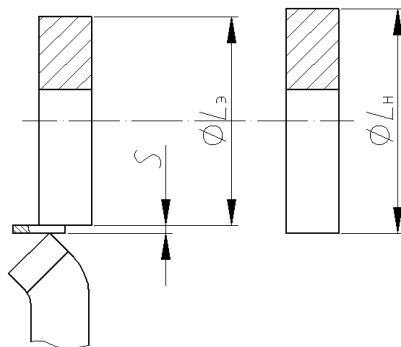


Рис. 7. Схема размерной цепи для определения толщины щупа и настройки резца на размер

- подбирается щуп с толщиной, ближайшей к  $S$ , который устанавливается на обработанную поверхность эталона;
- подводится резец до касания со щупом  $S$ , чем и достигается установка вершины резца на настроечный размер  $L_H$ ;
- если после измерения  $L_3$  оказался больше, чем  $L_H$ , то установка вершины резца на настроечный размер  $L_H$  производится (от неизменного радиального положения резца после обработки  $L_H$ ) перемещением резца (в тело детали) с помощью рукоятки поперечной подачи станка на величину  $S$ , которая контролируется по нониусу лимба.

4. Снимается первая обработанная деталь. Для динамической настройки производится обработка четырех деталей (допустим, получены размеры:  $L_1=33,93$ ;  $L_2=33,96$ ;  $L_3=33,94$ ;  $L_4=33,95$ ).

5. Определяется среднее арифметическое значение этих четырех деталей по формуле (24)

$$L'_{cp} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{m} = \frac{33,93 + 33,96 + 33,94 + 33,95}{4} = 33,945 \text{ мм.}$$

6. Определяем среднее квадратическое отклонение  $\sigma'$  пробной партии из четырех деталей по формуле (25)

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(33,93 - 33,945)^2 + (33,96 - 33,945)^2 + (33,94 - 33,945)^2 + (33,95 - 33,945)^2}{4}} = 0,011;$$

7. Определяем минимальный настроечный размер динамической настройки по формуле (28)

$$L_{\min}^H = 33,9 + 0,01 + 3 \cdot 0,011 \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{4}} \right) = 33,96 \text{ мм,}$$

где 0,01 – погрешность измерительных средств (для микрометра в формуле (28) принимаем  $a=0,01$  мм).

8. Определяем максимальный настроечный размер динамической настройки по формуле (29), и делаем вывод о соотношении поля допуска  $T$  и поля рассеяния фактических размеров  $\omega_m$ .

$$L_{\max}^H = 34 - 0,01 - 3 \cdot 0,011 \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{4}} \right) = 33,94 \text{ мм};$$

$$L_{\max}^H = 33,94 < L_{\min}^H = 33,96.$$

Это свидетельствует о том, что поле допуска  $T=0,1$  мм превышает поле рассеяния размеров  $\omega_m=6 \cdot \sigma'=0,066$  мм, но его не достаточно для размещения допуска настройки, т.к.  $L_{\max}^H < L_{\min}^H$ . В качестве настроечного размера следует выбрать  $L_d^H = L_{\min}^H$ .

9. При  $L_{\max}^H > L_{\min}^H$  рассчитываем допуск настройки  $T_H$  по формуле (30) и номинальный настроечный размер  $L_d^H$  по формуле (31) для динамической настройки.

10. Производится динамическая поднастройка системы СПИД в пределах  $L_{\min}^H$  и с учетом  $L_{\max}^H$ . Для чего подсчитывается разница

$$\Delta L = L_d^H - L'_{cp}.$$

11. Производится анализ результатов:

- если  $L_d^H < L'_{cp}$ , то это свидетельствует о том, что поле допуска  $T$  превышает поле рассеяния  $\omega_m$  ( $T > \omega_m$ ). В этом случае по лимбу увеличивается глубина резания на  $\Delta L$ . Центр группирования  $L'_{cp}$  обработанных деталей будет смещен к наименьшему предельному размеру  $L_{\min}$ . Часть поля допуска  $b$  (рис. 6) может быть использована для компенсации систематических погрешностей;

- если  $L_d^H > L'_{cp}$ , то это свидетельствует о том, что  $T < \omega_m$ . Обработка без брака невозможна. Поэтому по лимбу станка производится уменьшение глубины резания на  $\Delta L$ . В этом случае настроечный размер (центр группирования  $L'_{cp}$ ) смещается в сторону наибольшего предельного размера  $L_{\max}$ , чем брак переводится в категорию исправимого.

12. Обрабатывается 50 заготовок.



## Контрольные вопросы к лабораторной работе №2

1. Что понимают под точностью обработки?
2. Что называют параметрами точности?
3. Какие методы обеспечения точности существуют?
4. Какие условия производства соответствуют методам обеспечения точности обработки?
5. Что называется настройкой станка?
6. Какие существуют методы настройки станка?
7. Что такое настроечный размер?
8. Какова последовательность определения настроечного размера?
9. Какая разница в определении настроечного размера для охватываемых и охватывающих поверхностей?
10. Какие способы динамической настройки существуют?
11. Какие цели настройки?
12. Что такое поле рассеяния?
13. От чего зависит величина и знак поправки при статической настройке?
14. Какие значения элементов поправки, учитывающих половину диаметрального зазора в подшипниках токарных станков обычной и повышенной точности?
15. Какие знаете значения средних статистических поправок?
16. Для какой точности обработки пригодна статическая настройка?
17. Каким должно быть значение настроечного размера?
18. В каком интервале значений должны располагаться фактические размеры после обработки?
19. Какие факторы вызывают систематические изменения фактических размеров деталей?
20. Какие факторы вызывают случайные изменения фактических размеров деталей?
21. Какие знаете законы распределения случайной величины?
22. Какие параметры законов распределения случайных величин необходимо определять?
23. Что называется генеральной совокупностью?
24. Для чего делают выборки?
25. Как выборку используют для определения настроечного размера при динамической настройке?
26. Как определить минимальный настроечный размер?

27. Как определить максимальный настроечный размер?
28. Как определить номинальный настроечный размер?
29. Когда возможен допуск у настроечного размера?
30. Как определить погрешность настройки?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

#### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

Цель работы: углубленное изучение, практическое выполнение и приобретение навыков проведения статистического анализа точности обработки на металлорежущем станке.

При обработке деталей имеют место следующие три вида погрешностей: постоянные, закономерно-изменяющиеся и случайные (погрешности рассеяния). К постоянным погрешностям можно отнести такие, как например, погрешности теоретической схемы обработки, геометрические неточности станков, приспособлений, мерного режущего (сверла, развертки, протяжки) и измерительного инструмента и др.

К закономерно-изменяющимся погрешностям относятся такие как: погрешности из-за износа инструмента, нагрева узлов станка, переменной жесткости системы СПИД и др.

Случайные погрешности могут быть из-за колебания шероховатости и твердости заготовок, припусков на обработку, притупления инструмента и т.п.

Поле суммарного (общего) рассеяния размеров партии заготовок, обработанных на настроенном станке по методу автоматического получения размеров, выражается формулой

$$\omega = 1,2 \cdot \sqrt{\omega_m^2 + \omega_n^2 + \omega_y^2}, \quad (36)$$

где  $\omega_m$  – предельный разброс (мгновенное поле рассеяния определяется по формуле (23)), характерное для каждого вида обработки, конструкции, типоразмера и состояния станка, режущего инструмента, характеристик материала и припусков обрабатываемых заготовок;

$\omega_n$  – поле рассеяния настроечного размера, формула (35);

$\omega_y$  – поле рассеяния погрешности установки  $\varepsilon$ , зависящая от погрешности базирования  $\varepsilon_6$ , погрешности закрепления  $\varepsilon_3$ , погрешности приспособления  $\varepsilon_{пр}$

$$\omega_y = 1,2 \cdot \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2}, \quad (37)$$

где  $\varepsilon_6$  – погрешность базирования, возникающая в результате несовпадения измерительной и технологической баз, определяется как разность предельных размеров от измерительной базы до установленного на размер инструмента;

$\varepsilon_3$  – погрешность закрепления, возникающая в результате деформации в стыке «технологическая база – установочные элементы приспособления»;

$\varepsilon_{пр}$  – погрешность приспособления, включает погрешности изготовления установочных элементов  $\varepsilon_{уэ}$ , износ рабочих поверхностей  $\varepsilon_{и}$ , погрешность установки приспособления на станке  $\varepsilon_{ус}$ , погрешность перекося инструмента  $\varepsilon_{п}$  в направляющих элементах

$$\varepsilon_{пр} = 1,2 \cdot \sqrt{\varepsilon_{уэ}^2 + \varepsilon_{и}^2 + \varepsilon_{ус}^2 + \varepsilon_{п}^2}. \quad (38)$$

С учетом формулы (35) общее поле рассеяния фактических размеров после обработки

$$\omega = 1,2 \cdot \sqrt{\omega_m^2 + \varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_{см}^2}. \quad (39)$$

Численные значения случайных величин из этой формулы определяются для конкретных условий выполнения операций по фактическим значениям полей рассеяния или приближенно по статистическим данным из справочников.

По статистическим данным [4, с. 60, 61]:

- значение  $\omega_m$  составляет: для средних револьверных станков – 0,016...0,039 мм; для токарных – 0,013...0,036 мм; для круглошлифовальных – 0,004...0,0017 мм;

- значение  $\varepsilon_6$  определяется схемой технологической размерной цепи;

- значение  $\varepsilon_3$  составляет: в тисках – 0,05...0,2 мм; прихватами – 0,01...0,2 мм; в патроне – 0,04...0,1 мм; в зажимной цанге – 0,02...0,1 мм;

- значение  $\varepsilon_{пр}$  составляет 0,005...0,02 мм;

- значение  $\Delta_{рег}$  составляет: по лимбу или индикатору – 0,01...0,06 мм; по жесткому упору – 0,04...0,1 мм (при тщательном регулировании до 0,02 мм); по индикаторному упору – 0,005...0,015

мм; по эталонной детали – 0,1...0,13 мм;

- значение  $\Delta_{\text{изм}}$  составляет: при измерении штангенциркулем с ценой деления 0,02 мм –  $\Delta_{\text{изм}}=0,045$  мм; при цене деления 0,05 мм –  $\Delta_{\text{изм}}=0,09$  мм; при измерении микрометром  $\Delta_{\text{изм}}=0,006...0,014$  мм;

- значение  $\Delta_{\text{см}}$  как и  $\omega_{\text{м}}$  зависит от величины среднего квадратического отклонения для данного случая обработки и количества пробных заготовок для определения  $\sigma'$ .

Общая погрешность  $\Delta_{\text{обр}}$  включает в себя все поля рассеяния погрешностей размеров заготовок под влиянием причин случайного характера, а также систематические и переменные систематические погрешности обработки

$$\Delta_{\text{обр}} = 1,2 \cdot \sqrt{\omega_{\text{м}}^2 + \omega_{\text{н}}^2 + \omega_{\text{у}}^2} + \Delta_{\text{сист}}, \quad (40)$$

где  $\Delta_{\text{сист}}$  – представляет собой алгебраическую сумму неустранимых при настройке станка систематических погрешностей (постоянных для всех заготовок партии) и переменных систематических погрешностей. Причинами возникновения систематических и переменных систематических погрешностей обработки заготовок являются: неточность, износ и деформации станков, приспособлений и инструментов; деформация обрабатываемых заготовок; тепловые деформации, происходящие в технологической системе СПИД; погрешности теоретической схемы обработки.

Систематические погрешности не изменяют форму кривой рассеяния размеров обрабатываемых заготовок, а только сдвигают положение ее вершины, увеличивая общее поле рассеяния размеров партии обработанных заготовок [4, с. 54-63].

Деление на три вида погрешностей иногда носит условный характер из-за различного проявления того, или иного фактора в конкретных условиях. Учет же всех факторов (для получения возможности достоверно предсказывать ожидаемую погрешность обработки) возможен на основании законов теории вероятностей и математической статистики. На использовании этих законов основан статистический метод исследования точности обработки.

Статистическое исследование точности обработки начинается с определения эмпирического закона распределения случайной величины погрешности для принятия гипотезы о теоретическом законе распределения случайной величины. Затем, на этой основе рассчитывают показатели точности обработки; находят вероятное количество годных и бракованных заготовок; уточняют настроечный размер.

Случайные погрешности при обработке партии заготовок на настроенном станке приводят к тому, что фактический размер каждой заготовки является случайной величиной и может принимать любое значение в границах определенного интервала, именуемого полем рассеяния. Для определения численного значения поля рассеяния размеров с определенной вероятностью (значения теоретического поля рассеяния) необходимо предположить (принять гипотезу) теоретический закон распределения размеров заготовок.

Чтобы принять гипотезу о теоретическом законе распределения, по фактическим размерам обработанных заготовок строят эмпирические и теоретические поля рассеяния и законы распределения случайной величины. Затем производят сравнение эмпирического и предполагаемого теоретического закона распределения случайной величины  $X$  (размера заготовок).

Теоретические законы задаются функциями распределения случайной величины, которые графически изображаются графиками (кривыми распределения). В теоретических кривых распределения оси координат служат для отсчета значений случайной величины  $X$  по оси абсцисс и плотности вероятности  $Y=p(x)$  по оси ординат.

Плотностью вероятности случайной величины называется

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x}, \quad (41)$$

где  $P(x < X < x + \Delta x)$  – вероятность попадания случайной величины  $X$  в интервал значений от  $x$  до  $x + \Delta x$ . Для теоретических кривых распределения площадь криволинейной трапеции на участке от  $x_1$  до  $x_2$  соответствует вероятности попадания случайной величины  $X$  в интервал от  $x_1$  до  $x_2$ , т.е.

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx, \quad (42)$$

а площадь всей фигуры, ограниченной кривой распределения равна единице, что соответствует полной вероятности.

В эмпирических законах распределения случайной величины аналогом вероятности  $P$  является частота  $P_3$ , т.е. отношение частоты попадания случайного значения фактических размеров заготовок в некоторый интервал значений к общему числу проведенных измерений

$$P_3(x_1 < X < x_2) = \frac{m(x_1 < X < x_2)}{n}, \quad (43)$$

где  $P_3(x_1 < X < x_2)$  – частота (относительная частота) попадания случайной величины  $X$  в интервал от  $x_1$  до  $x_2$ ;

$m(x_1 < X < x_2)$  – частота (количество) попаданий фактических размеров заготовок в интервал значений от  $x_1$  до  $x_2$ ;

$n$  – общее количество измерений случайной величины в опытах.

При сопоставлении теоретического распределения случайной величины с практическим законом распределения случайной величины сравнивают вероятности теоретического распределения с относительными частотами (частостями) появления случайной величины в опытах эмпирического исследования.

Так как для непрерывной случайной величины  $X$  вероятности определяются для некоторых интервалов. А любые серии повторений испытаний дают нам наборы отдельных значений случайной величины ( $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ ), то для сопоставления предполагаемого теоретического распределения вероятности с эмпирическим распределением относительных частот необходимо вычислить относительные частоты для тех же интервалов.

Один из способов сравнения теоретического и эмпирического распределений состоит в следующем. Весь диапазон  $A \dots B$  (рис. 8) изменения случайной величины  $X$  разбивают на  $k$  интервалов точками  $x_1, x_2, \dots, x_{k-1}$  ( $A = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{k-1} < x_k = B$ ) и подсчитывают относительные частоты

$$P_{3i} = \frac{m_i}{n}, \quad (44)$$

где  $m_i$  – частота попадания случайных значений  $X_j$  в интервал  $[x_{i-1}, x_i]$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ).

Эти относительные частоты  $P_{3i}$  сопоставляют с теоретическими вероятностями  $P_i$  попадания в те же интервалы

$$P_i = P(x_{i-1} < X < x_i) = \int_{x_{i-1}}^{x_i} p(x) dx, \quad (45)$$

где  $p(x)$  – плотность вероятности предполагаемого теоретического закона распределения вероятностей.

Если предполагаемое теоретическое распределение хорошо согласуется с эмпирическим (адекватно ему), то при достаточно большом числе  $n$  опытов относительные частоты  $P_{3i}$  должны быть приближенно равны соответствующим вероятностям  $P_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ).

Для наглядного графического сопоставления предполагаемого

теоретического распределения с эмпирическим, кривую распределения, т.е. график плотности вероятности  $Y=p(x)$  (рис. 2), сравнивают с полигоном распределения (рис. 8).

Гистограмма (рис. 8) строится следующим образом. На оси абсцисс отмечают минимальное  $X_{\min}=A$  и максимальное  $X_{\max}=B$  значения из всех фактических размеров. Их разность представляет эмпирическое поле рассеяния

$$\omega_3 = X_{\max} - X_{\min}. \quad (46)$$

Поле  $\omega_3$  разбивается на  $k=5\dots 7$  интервалов протяженностью  $\Delta x$ . Для каждого  $i$ -го интервала находится частота по формуле (44) попадания фактических размеров в этот  $i$ -й интервал. Каждую относительную частоту  $P_{3i}$  делят на длину интервала, и полученную среднюю плотность частоты попадания в интервал, которая является аналогом плотности вероятности теоретического распределения, откладывают по оси ординат для этого интервала. Обычно протяженность всех интервалов выбирают одинаковой, равной  $\Delta x$ , что позволяет на оси ординат откладывать значения средней плотности частоты

$$Y_{3i} = \frac{m_i}{n \cdot \Delta x}. \quad (47)$$

При таком построении относительные частоты попадания в интервалы  $P_{3i}$  будут равны площадям соответствующих столбиков гистограммы, подобно тому, как вероятности  $P_i$  равны площадям соответствующих криволинейных трапеций для теоретического распределения.

Если предполагаемое теоретическое распределение хорошо согласуется с опытным, то при достаточно большом  $n$  и удачном выборе границ интервалов гистограмма будет близка к кривой теоретического распределения. Иногда для наглядности сравнения строят многоугольник распределения (эмпирическая кривая, или полигон распределения), соединяя последовательно середины верхних оснований столбиков гистограммы (рис. 8).

При обнаружении больших расхождений между предполагаемым теоретическим и эмпирическим распределениями возникает сомнение в правильности выбора закона распределения. Для решения вопроса о допустимости тех или иных расхождений существуют критерии согласия (Пирсона, Колмогорова и др.), использование которых излагается в курсах математической статистики. Отметим только, что применение критериев согласия требует, как правило, большого числа опытных данных (порядка сотен и даже тысяч).

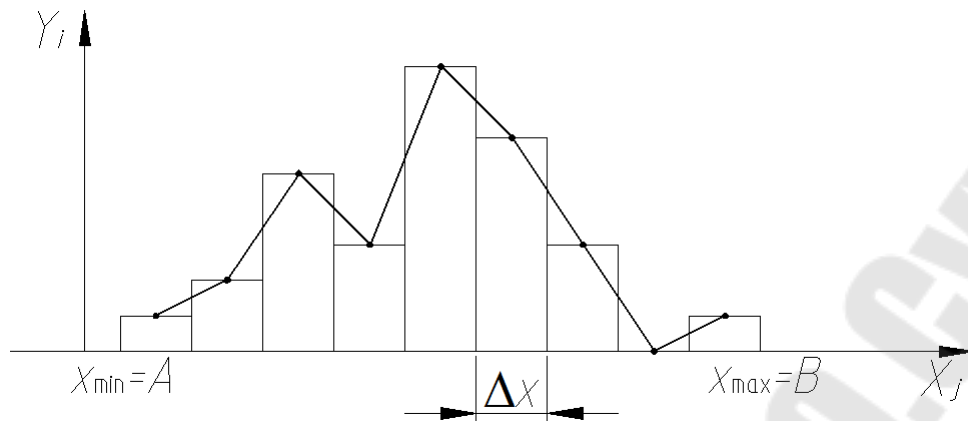


Рис. 8. Гистограмма и полигон распределения случайной величины  $X$

Вывод математических формул для эмпирических законов распределения очень трудоемкий. Поэтому для решения практических задач выбирают некоторый близкий теоретический закон распределения, и его функцию используют в расчетах. Основными параметрами в функциях распределения являются математическое ожидание (центр группирования) случайной величины  $X_{cp} = L_{cp}$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  случайной величины от  $X_{cp}$

$$X_{cp} = \sum_{i=1}^k \frac{X_i \cdot m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k X_i \cdot m_i, \quad (48)$$

где  $X_{cp}$  – математическое ожидание фактических размеров заготовок;

$X_i$  – среднее значение фактических размеров, попавших в  $i$ -й интервал (значение размера, соответствующее середине  $i$ -го интервала);

$m_i$  – частота (количество фактических размеров) попадания случайной величины в  $i$ -й интервал;

$n$  – общее количество измерений (объем выборки) в партии заготовок.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k \frac{(X_i - X_{cp})^2 \cdot m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (X_i - X_{cp})^2 \cdot m_i}, \quad (49)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение фактических размеров от математического ожидания (настроечного размера).

При исследовании точности механической обработки и анализе распределений погрешностей размеров, формы, шероховатости поверхности, физико-механических свойств заготовок и ряда других показателей качества и свойств заготовок наиболее часто используют



закон нормального распределения с теоретической кривой распределения плотности вероятности Гаусса аналогичной (22)

$$Y = p(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - X_{cp})^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (50)$$

Общий случай кривой нормального распределения (50) изображен на рис. 2. Значение  $X_{cp} = L_{cp}$  характеризует смещение куполообразной кривой относительно начала координат.

Для расчета вероятностей появления тех либо иных случайных величин с нормальным распределением составлены таблицы (например, табл. 9) специальной функции (функция Лапласа)

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt, \quad (51)$$

называемой интегралом вероятностей. Таблица функции Лапласа  $\Phi(t)$  содержит значения вероятностей случайной величины для стандартного нормального распределения (рис. 9) с параметрами  $X_{cp} = 0$  и  $\sigma = 1$ . Формула плотности вероятности для стандартного распределения

$$Y = \varphi(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (52)$$

График ее симметричен относительно оси ординат, при  $t=0$  имеет единственный максимум, равный  $Y_0 = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0} \approx 0,4$ ; две точки перегиба при  $t = \pm 1 = (\pm \sigma)$   $Y_1 = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}} \approx 0,24$ ; при  $t = \pm 2 = (\pm 2\sigma)$

$Y_2 = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-2} \approx 0,05$ ; при  $t = \pm 3 = (\pm 3\sigma)$   $Y_3 = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{9}{2}} \approx 0,004$ .

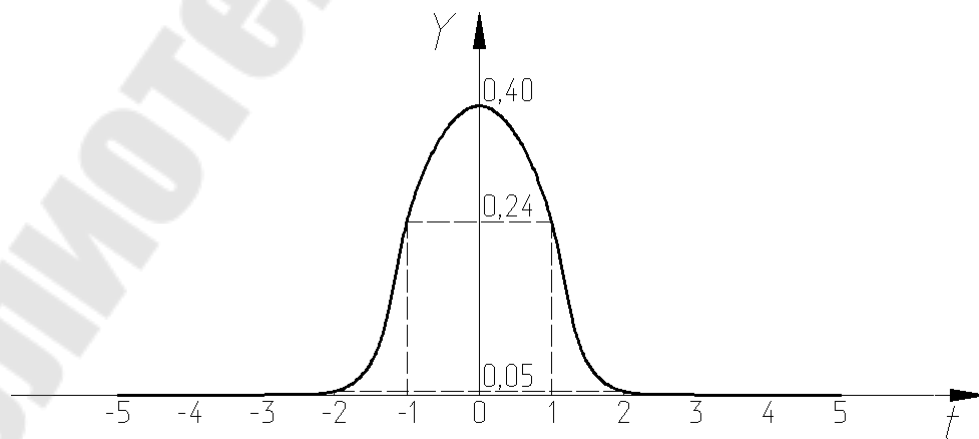


Рис. 9. Кривая стандартного нормального распределения

Любую кривую (рис. 2) нормального распределения (50) можно путем замены (преобразования) переменных привести к стандартной кривой и затем использовать табличные значения интеграла вероятности (табл. 9) для определения теоретической вероятности появления случайной величины. Для нашего случая преобразование переменных сводится к замене отклонений фактических размеров от математического ожидания, измеренных в миллиметрах, на те же отклонения, измеренные в единицах среднего квадратического отклонения. То есть в формуле (50) производится замена

$$\frac{X_i - X_{\text{cp}}}{\sigma} = t, \quad (53)$$

где  $t$  – новая (преобразованная) переменная.

Таблица 9

Значения интеграла вероятности (функции Лапласа)

$t$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
$\Phi(t)$	0,0000	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016	0,0019	0,0023	0,0027	0,0031
$t$	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
$\Phi(t)$	0,0359	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675
$t$	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
$\Phi(t)$	0,0714	0,0753	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026
$t$	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
$\Phi(t)$	0,1064	0,1103	0,1141	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368
$t$	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
$\Phi(t)$	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700
$t$	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,52	0,54	0,56
$\Phi(t)$	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879	0,1915	0,1950	0,1985	0,2020
$t$	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74
$\Phi(t)$	0,2190	0,2257	0,2324	0,2389	0,2454	0,2517	0,2580	0,2642	0,2703
$t$	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92
$\Phi(t)$	0,2764	0,2823	0,2881	0,2939	0,2995	0,3051	0,3106	0,3159	0,3212
$t$	0,94	0,96	0,98	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
$\Phi(t)$	0,3264	0,3315	0,3365	0,3413	0,3531	0,3643	0,3749	0,3849	0,3944
$t$	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70
$\Phi(t)$	0,4032	0,4115	0,4192	0,4265	0,4332	0,4394	0,4452	0,4505	0,4554
$t$	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,10	2,20	2,30
$\Phi(t)$	0,4599	0,4641	0,4678	0,4713	0,4744	0,4772	0,4821	0,4861	0,4893
$t$	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,20	3,40
$\Phi(t)$	0,4918	0,4938	0,4953	0,4965	0,4974	0,4981	0,4986	0,4993	0,4996
$t$	3,60		3,80		4,00		4,50		5,00
$\Phi(t)$	0,499841		0,499928		0,499968		0,499997		0,4999997

После преобразования (53) формула (50) превращается в формулу (52), т.к.  $\sigma$  становится единицей измерения новой переменной  $t$  (нормированный параметр распределения или коэффициент риска).

Гистограмму или полигон эмпирического закона распределения случайной величины лучше всего сравнивать также со стандартной кривой нормального распределения (рис. 9). Для этого по оси ординат откладывают среднюю плотность частоты ( относительной частоты)  $Y_{эi}$  попадания фактических размеров в  $i$ -й интервал размеров от  $X_{i-1}$  до  $X_i$ , которую рассчитывают для преобразования величины  $t$ , т.е.

$$Y_{эi} = \frac{m_i}{n \cdot \Delta t} = \frac{m_i \cdot \sigma}{n \cdot \Delta x}. \quad (54)$$

Значения функции Лапласа симметричны, т.к.  $\Phi(t) = \Phi(-t)$ , и расположены от  $t=0$  до  $t=5,0$  в табл. 9. Значения функции Лапласа для промежуточных значений параметра  $t$  можно определять с помощью линейной интерполяции рядом расположенных значений  $\Phi(t_i)$ ,  $\Phi(t_{i+1})$  по табл. 9. Для правильного выбора значений интеграла вероятности из табл. 9 при определении вероятности появления случайной величины следует различать три возможных случая расположения ее значений под кривой распределения.

Случай 1 (рис. 10). Случайная величина фактических размеров обработанных заготовок имеет центр группирования  $X_{cp} = 50$  мм, среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,013$  мм, поле допуска для 7 качества точности ( $\varnothing 50j7$ ) в 30 мкм расположено между  $\varnothing 49,99$  и  $\varnothing 50,02$ . Требуется определить вероятность получения годных и бракованных деталей.

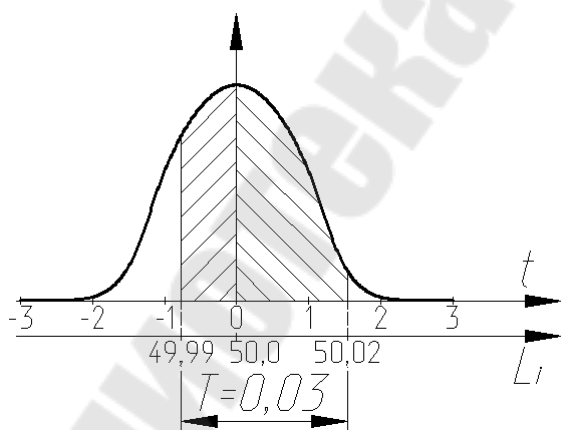


Рис. 10

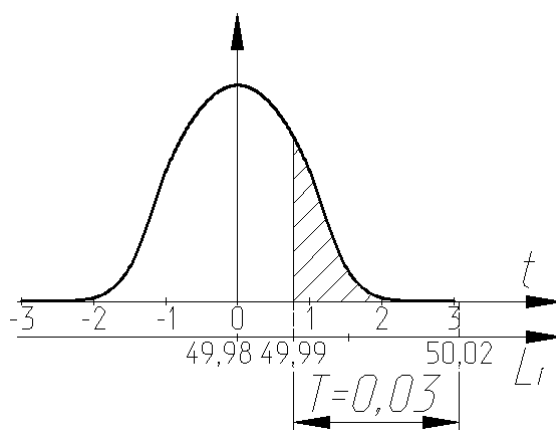


Рис. 11

Вероятность годных деталей будет равна площади под стандартной кривой в пределах поля допуска. Для использования таблицы

функции Лапласа, когда центр группирования делит поле допуска на две части, нужно найти значения переменной  $t$  до центра группирования  $t_1=(50-49,99)/0,013=0,769$  и после  $t_2=(50,02-50)/0,013=1,538$  для границ поля допуска. Затем найти соответствующие значения интеграла вероятности  $\Phi(t_1)$  и  $\Phi(t_2)$ , и просуммировать их для нахождения общего интеграла (площади) в пределах поля допуска.

$$P(49,99 < L < 50,02) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{0,769}^{1,538} e^{-\frac{t^2}{2}} dt =$$

$$= \Phi(0,769) + \Phi(1,538) = 0,279 + 0,438 = 0,717.$$

Вероятность брака будет равна остальной площади под кривой  $P_{бр} = 1 - 0,717 = 0,283$ .

Случай 2 (рис. 11). Пусть условия задачи останутся прежними за исключением значения математического ожидания, которое будет равным  $X_{cp}=49,98$  мм. В этом случае для определения вероятности попадания фактических размеров в поле допуска с использованием табл. 9 следует вначале найти значение  $\Phi(t)$  для крайней правой границы допуска, т.е.  $t_1=(50,02-49,98)/0,013=3,077$ ;  $\Phi(3,077)=0,499$ ; затем для левой границы  $t_2=(49,99-49,98)/0,013=0,769$ ;  $\Phi(0,769)=0,279$ , и вычислить разницу между ними

$$P(49,99 < L < 50,02) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{0,769}^{3,077} e^{-\frac{t^2}{2}} dt =$$

$$= \Phi(3,077) - \Phi(0,769) = 0,499 - 0,279 = 0,22.$$

Вероятность брака  $P_{бр} = 1 - 0,22 = 0,78$ .

Случай 3 (рис. 12). При прежних условиях задачи центр группирования принял значение  $X_{cp}=50,025$  мм, сместившись за правую границу поля допуска. В этом случае

$$P(49,99 < L < 50,02) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi[(50,025 - 49,98)/0,013] -$$

$$- \Phi[(50,025 - 50,02)/0,013] = \Phi(2,692) - \Phi(0,385) = 0,496 - 0,15 = 0,346.$$

Вероятность брака  $P_{бр} = 1 - 0,346 = 0,654$ .

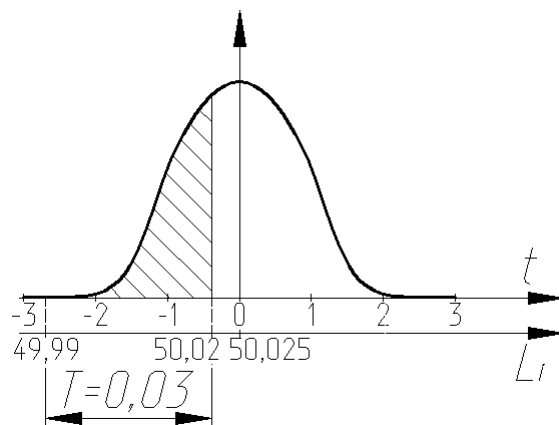


Рис. 12

Ниже перечислены основные задачи, которые решаются на базе статистического исследования точности обработки в технологическом процессе.

1. На базе сравнительно небольшого количества замеренных деталей – 50...100 шт. имеется возможность определить точность выполнения операции на заданном станке, а также составить обоснованные нормативы точности и величину поля рассеяния, которую можно ожидать на этом станке или операции технологического процесса.

Здесь и далее рассматривается закон нормального распределения как наиболее часто встречающийся. Известно, что при коэффициенте риска  $t = \omega_s / \sigma = 3,0$  процент риска  $P = 0,27\%$  (табл. 10). При поле рассеяния  $\omega = \pm 3 \cdot \sigma$  учитывается 99,73% всех размеров, т.е. практически в интервале  $6 \cdot \sigma$  содержатся размеры всех деталей обследуемой партии.

Следовательно, определив значение  $\sigma$  представляется возможным установить точность или величину поля рассеяния, которое можно ожидать в каждом конкретном случае. В общем случае разброс размеров при обработке или величина поля рассеяния  $\omega_m$  определяется из выражения

$$\omega_m = \pm 2 \cdot t \cdot \sigma, \quad (55)$$

где  $t$  – значение аргумента функции Лапласа, соответствующее коэффициенту риска получения брака из табл. 10.

Таблица 10

Зависимость брака от коэффициента риска

Процент брака	0,1	0,27	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0	32,0
$t$	3,29	3,0	2,8	2,57	2,33	2,17	2,06	1,96	1,65	1,00

2. Определить процент годных и бракованных деталей в данной партии, а также долю исправимого и неисправимого брака. На рис. 13 изображена кривая нормального распределения с полем рассеяния, которая характеризует статистическую обработку партии деталей, изготовленной на некотором оборудовании. Возможны случаи, когда допуск на размер детали по отношению к полю рассеяния будет занимать положения, изображенные на рис. 13, а-г. Причем в случаях а) и г) середина полей допусков совпадает с серединой поля рассеяния и с центром группирования размеров, а в случаях б) и в) не совпадает.

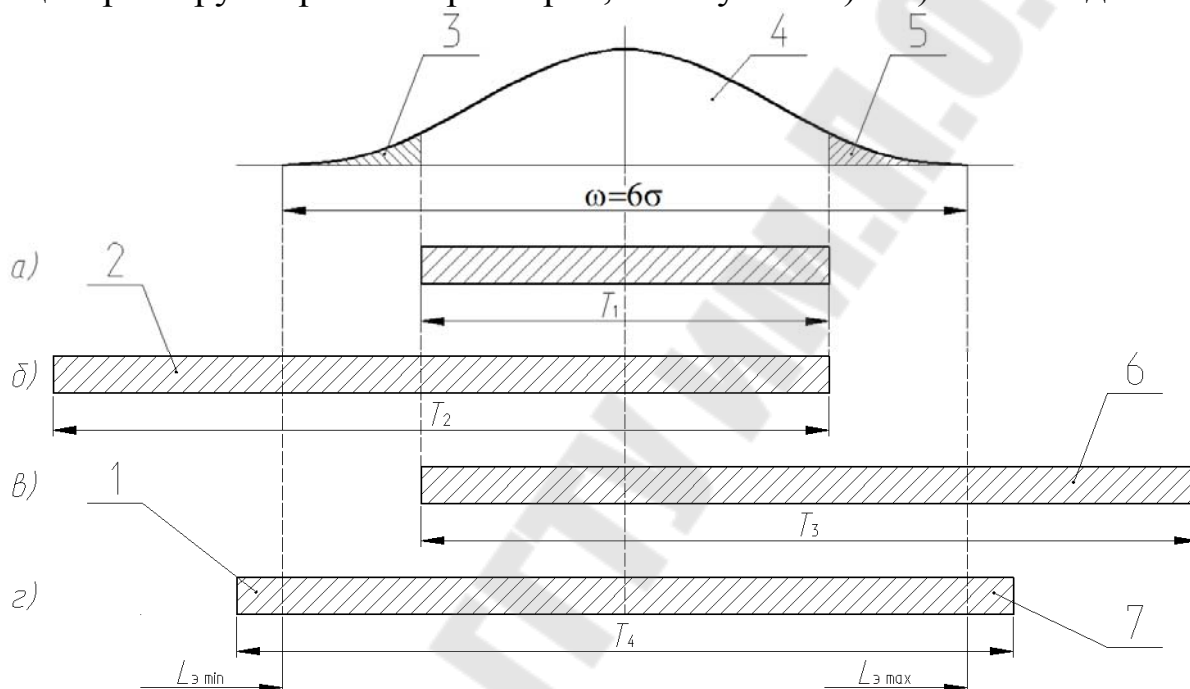


Рис. 13. Расположение поля рассеяния и допусков

Если  $T_1 < \omega$  (рис. 13, а), то брак неизбежен и будет соответствовать величине площадей (3) и (5) под кривой нормального распределения. Причем, например, при обработке валов исправимый брак будет соответствовать площади (5), а неисправимый – площади (3). При обработке отверстий – наоборот. При  $T_4 > \omega$ , если середина поля допуска совпадает с серединой поля рассеяния (рис. 13, г), то брака не будет. В данном случае обработки, при стабильном получении центра группирования, фактические размеры не будут получать значений, соответствующих частям (1) и (7) поля допуска. Если же середина поля допуска не совпадает с серединой поля рассеяния, то возможен как брак, соответствующий величинам площадей поля рассеяния (5) (случай б) либо (3) (случай в), так и отсутствие при обработке размеров, лежащих соответственно в пределах допусков (2) либо (6). Подсчет

процента годных и бракованных деталей производят обычно и использованием табл. 9, задающей значения функции Лапласа  $\Phi(t)$ .

3. Учесть возможности производственного оборудования, когда аналитический расчет погрешности из-за влияния трудно учитываемых факторов, особенно при изготовлении изделий высокой точности, не дает надежного решения.

4. По характеру закона распределения дифференцировать (разделить) погрешности на случайные и систематические, что облегчает изыскание путей повышения точности изготовления.

5. Появляется объективная возможность сравнивать точность обработки на разных станках и найти оптимальное число однотипных операций или число проходов для заданной точности (шлифование, хонингование и т.п.).

Известно, что характеристики кривой распределения ( $X_{cp}$ ,  $\sigma$ ) и расположение  $X_{cp}$  относительно поля допуска служит объективным критерием для оценки влияния того или иного фактора на точность обработки. Например, на рис. 14 приведены кривые распределения, полученные после шлифования отверстия  $\varnothing 20$  мм (кривая 1) и после хонингования (кривая 2). Как видно, после хонингования поле рассеяния уменьшилось с 2...8 мкм до 1...5 мкм. На 1 мкм сместился центр группирования в сторону более жесткого допуска.

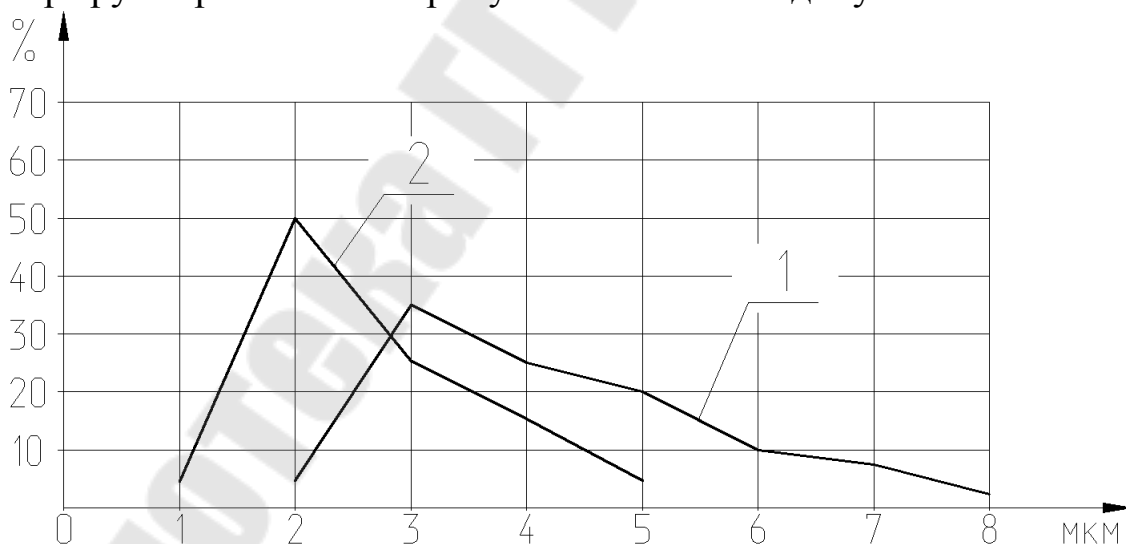


Рис. 14. Полигон распределения овальности

Кривые распределения дают возможность проследить за динамикой одного и того же процесса. На рис. 15 приведены кривые распределения размеров диаметра поршневого кольца после бесцентрового шлифования [5]. Цифрами обозначены проходы. Видно, что по-

сле трех проходов рассеяние размеров резко сократилось. После 4 и 5 проходов оно практически не изменилось. Кривые лишь смещаются вследствие уменьшения диаметра при шлифовании. Очевидно, что поскольку протяженность поля рассеяния стабилизировалась, дальнейшее увеличение числа проходов, без дополнительного совершенствования процесса, не повышает точности обработки.

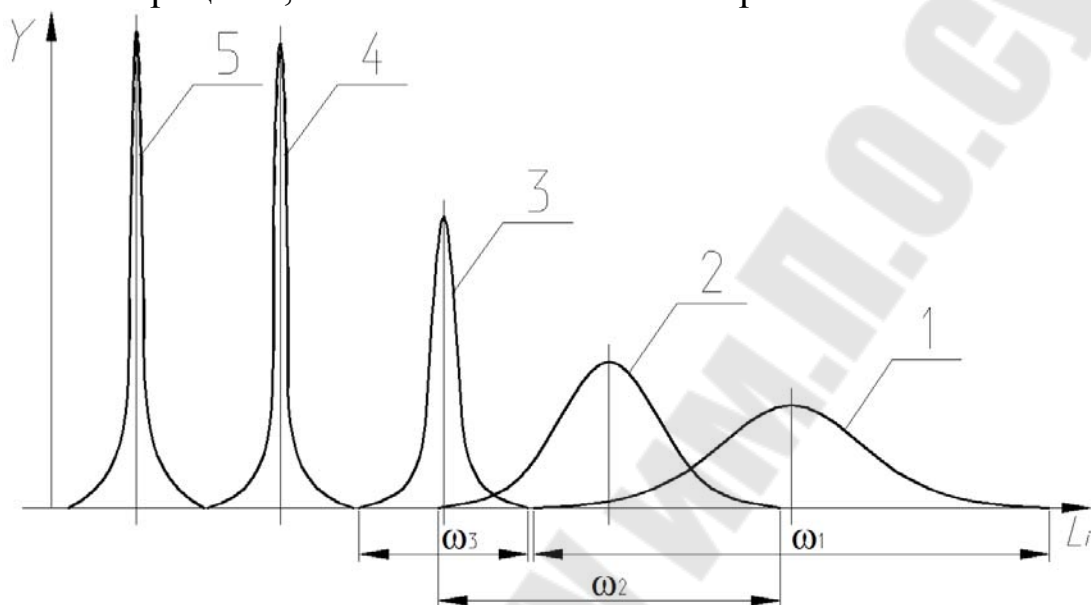


Рис. 15. Кривые распределения диаметров поршневых колец

6. Найти величину межоперационных допусков для заданного метода обработки. Организовать статистический контроль, сущность которого сводится к тому, что контроль и промеры готовой продукции осуществляют во время обработки заданной партии деталей выборочно. Результаты замера наносят на контрольной диаграмме в виде точки (рис. 16). На диаграмме проводят границы, соответствующие полю допуска  $T$ , и контрольные линии, определяющие пределы настройки ( $a$  — величина погрешности измерения). По мере работы станка из-за износа режущего инструмента размер каждой детали несколько изменяется и отметки в границах поля допуска перемещаются к предельному верхнему отклонению (при обработке наружных цилиндрических поверхностей). Когда размеры приближаются к верхней контрольной линии, то требуется переналадка станка. Обычно контролируют 5...10% всей продукции, т.е. каждую 10...20 деталь по мере их изготовления.



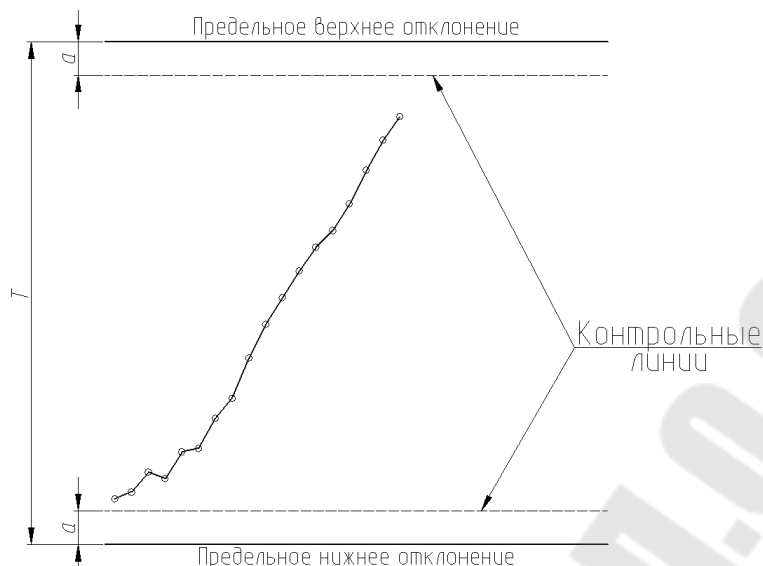


Рис. 16. Контрольная диаграмма изменения фактических размеров

### Порядок выполнения лабораторной работы №3

1. Производится измерение диаметров 50 деталей. Причем замер производится дважды в средней части детали с поворотом на  $90^\circ$ . По каждой детали данные двух измерений  $d'_i$ ,  $d''_i$  и их средние  $d_i$  значения заносятся в таблицу результатов измерений (табл. 11).

Таблица 11

Таблица результатов измерений

№ п/п	Диаметр, мм			...	№ п/п	Диаметр, мм		
1	$d'_1$	$d''_1$	$d_1$	...	$i+1$	$d'_{i+1}$	$d''_{i+1}$	$d_{i+1}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$i$	$d'_i$	$d''_i$	$d_i$	...	50	$d'_{50}$	$d''_{50}$	$d_{50}$

2. Производится обработка результатов измерений с записью в табл. 12.

2.1. Весь ряд полученных размеров разбивается на  $k$  равных интервалов (удобно брать  $k=5$ ; 7; 9 или 11 интервалов). Границы интервалов записываются во вторую колонку табл. 12 обработки результатов измерений в отчете. Причем, границы интервалов целесообразно выбирать округленно (2...3 знака после запятой).

2.2. Определяют середины каждого интервала (как среднее арифметическое граничных значений каждого интервала), и их значения  $L_i$  записывают в третью колонку табл. 12.

Таблица обработки результатов измерений

№ п/п	Интервал размеров	Середина интервала $L_i$	Частота $m_i$	Произв. для расчета $L_{cp}$ , $\sigma$			Вероятность	
				$L_i \cdot m_i$	$(L_i - L_{cp})^2$	$(L_i - L_{cp})^2 \cdot m_i$	эмпир.	теор.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
...								
$k$								
$\sum_{i=1}^k$	—	—	50	...	—	...	—	—

2.3. Определяют частоту попадания  $m_i$  экспериментальных размеров в каждый интервал и данные заносят в четвертую колонку табл. 12. Причем, если значение находится на границе двух интервалов, то необходимо в каждый интервал записать по 0,5 попадания. Построчная сумма четвертой колонки дает общее количество измеренных деталей.

2.4. Для каждого  $i$ -го интервала подсчитывают произведение среднего значения в интервале  $L_i$  на частоту попадания в этот интервал  $m_i$  и полученные произведения заносят в пятую колонку.

2.5. Определяют среднеарифметический размер  $L_{cp}$  (математическое ожидание), используя построчную сумму пятой колонки из табл. 12, по формуле (48). Следует иметь в виду, что размер  $L_{cp} = X_{cp}$  обычно находится в границах интервала размеров  $L_i$ , частота  $m_i$  которого имеет максимальное значение, либо находится рядом (что значительно реже) в границах соседнего с ним интервала.

2.6. Заполняют построчно шестую и седьмую колонки табл. 12 и подсчитывают построчную сумму седьмой колонки с записью в табл. 12.

2.7. Определяют величину среднеквадратического отклонения  $\sigma$  по формуле (49) с использованием построчной суммы седьмой колонки табл. 12.

3. Производят необходимые расчеты для приведения эмпирического распределения в масштаб стандартной кривой нормального распределения с использованием зависимостей (50)-(54).

4. Строят на одной координатной сетке кривые фактического и теоретического распределения (рис. 8 и рис. 9), а также фактическое поле рассеяния  $\omega_M$  и поле допуска  $T$  на исследуемый размер (рис. 17).

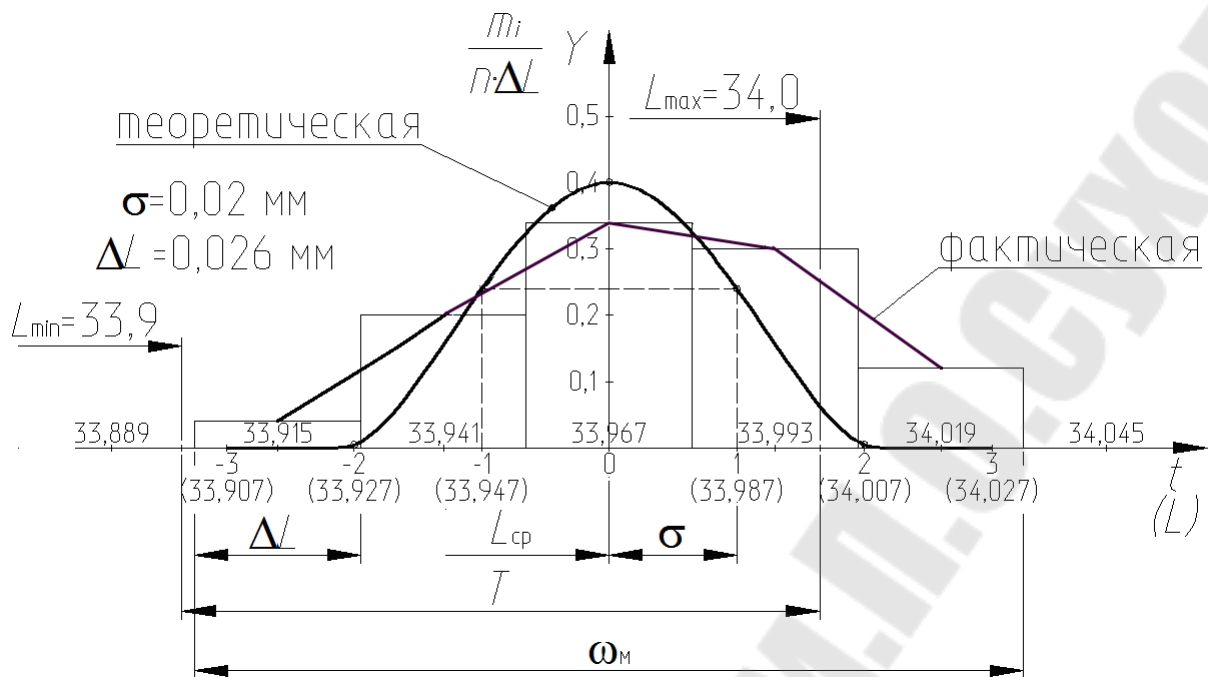


Рис. 17. Кривые фактического и теоретического распределения

5. Рассчитывают вероятность получения годных и бракованных деталей на исследуемой операции с использованием формулы плотности вероятности стандартного распределения (значений функции Лапласа из табл. 9).

6. Делают выводы по результатам проведенной работы.

7. По выбору преподавателя решить одну из задач статистического исследования точности токарной обработки по опытным данным работы.

#### Контрольные вопросы к лабораторной работе №3

1. Какие виды погрешностей возникают при обработке?
2. Назовите примеры постоянных погрешностей?
3. Назовите примеры закономерно изменяющихся погрешностей?
4. Назовите примеры случайных погрешностей?
5. Какие составляющие общего поля рассеяния размеров партии заготовок, обработанных на настроенном станке?
6. Какие средние статистические значения разброса размеров заготовок обработанных на настроенном станке?
7. Какие средние статистические значения погрешностей закрепления?
8. Какие средние статистические значения погрешностей приспособлений?

9. Какие средние статистические значения погрешностей регулирования?
10. Какие средние статистические значения погрешностей измерений?
11. Какова сущность статистического метода исследования точности?
12. Что такое гистограмма и полигон распределения?
13. Как определяется, и что собой характеризует математическое ожидание (среднее арифметическое значение или центр группирования исследуемого параметра)?
14. Как определяется, и что собой характеризует среднее квадратическое отклонение случайной величины относительно центра группирования?
15. Какие основные задачи решаются статистическим методом исследования точности техпроцесса?
16. Какова последовательность действий для определения точности обработки на станке?
17. Как определяется процент годных и бракованных деталей, а также исправимый и неисправимый брак?
18. Каким образом можно дифференцировать случайные и систематические погрешности?
19. Как можно сравнить точность обработки на разных станках?
20. Как определяется необходимое число однотипных операций или число проходов для заданной точности?
21. Какова сущность метода статистического контроля?
22. Какова последовательность получения экспериментальных данных исследования точности обработки заготовок статистическим методом?
23. Какова последовательность обработки полученных данных?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Режимы резания металлов: Справочник. / Под ред. Ю. В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972.
2. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. 4-е издание, – Мн.: Вышэйшая школа, 1983.
3. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1984.
4. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учеб. для машиностроит. вузов по спец. «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструмент». – Л.: Машиностроение, Ленигр. отделение, 1985.
5. Ящерицын П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. – Мн.: Вышэйшая школа, 1974.
6. Румшинский Л.З. Элементы теории вероятностей. 5-е издание. Главная редакция физ.-мат. литературы. – М.: Наука, 1976.
7. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1976.
8. Кован В.М. и др. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1977.
9. Практическое руководство к лабораторной работе №1 по курсу «Технология машиностроения» для студентов специальности Т03.01.00. – Гомель: Ризограф ГПИ им. П.О. Сухого, 1997. (м/у 2128).

**Щербаков Сергей Александрович  
Дмитриченко Евгений Эдуардович**

## **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**Практикум  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Основы технологии  
машиностроения» для студентов специальностей  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических  
процессов и производств (по направлениям)»**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 20.11.19.

Рег. № 48Е.  
<http://www.gstu.by>