

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ПАРТИИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Цель работы – получение практических навыков исследования точности процессов обработки партии деталей на токарном станке с ЧПУ вероятностно-статистическим методом.

5.1 Точность размерной обработки заготовок

Точность детали – степень соответствия детали требованиям чертежа и техническим условиям по размерам, геометрической форме, шероховатости, взаимному расположению обрабатываемых поверхностей. Экономическая точность – точность, затраты на которую при данном способе обработки меньше затрат при ином способе обработки.

При оценке точности обычно говорят не о соответствии параметров реальной и заданной деталей, а об их различии.

Численным выражением точности является **абсолютная погрешность** обработки по данному параметру $\Delta X = X_{\partial} - X_n$, где X_{∂} – действительное (полученное) значение рассматриваемого параметра; X_n – номинальное (заданное) значение параметра.

Погрешности, возникающие в процессе обработки деталей на металлорежущих станках, имеют систематический или случайный характер. Систематические погрешности, в свою очередь, можно разделить на постоянные и функциональные (изменяющиеся в процессе обработки по определенным законам). Терминология приведена ниже, регламентирована стандартами.

Погрешность производства детали – отклонение действительного значения параметра производимой детали от номинального значения, установленного нормативно-технической документацией.

Систематическая погрешность производства детали – составляющая погрешности производства детали, при неизменных условиях сохраняющая или принимающая закономерно изменяющиеся модуль и (или) знак. Различают два вида этой погрешности: постоянную систематическую и переменную систематическую.

Постоянная систематическая погрешность производства детали – систематическая погрешность производства детали, сохраняющая модуль и знак. Эта погрешность возникает под влиянием постоянно действующих факторов и не изменяется при обработке одной или нескольких партий заготовок.

Примеры постоянных систематических погрешностей: конусообразность обработанной поверхности заготовки, возникающая в результате смещения центров передней и задней бабок или непараллельности оси шпинделя направляющим станины при обтачивании в патроне; погрешность межосевого расстояния растачиваемых отверстий из-за ошибок в размере между осями направляющих втулок; погрешность диаметров отверстий из-за погрешностей в размерах протяжки, развертки, зенкера или сверла (т. е. мерного инструмента); погрешности формы, возникающие вследствие деформации тонкостенной заготовки при ее закреплении в приспособлении.

Переменная систематическая погрешность производства детали – систематическая погрешность производства детали, закономерно изменяющаяся по модулю и (или) знаку. Причинами возникновения такой погрешности являются размерный износ режущего инструмента; температурные деформации станков, режущего инструмента, приспособлений, обрабатываемой заготовки; погрешности формы исходной заготовки.

Случайная погрешность производства детали – составляющая погрешности производства детали, случайным образом принимающая при неизменных условиях различные модуль и (или) знак. Причинами случайных погрешностей являются, например, неравномерность или колебания размеров припуска на обработку; колебания значений механических свойств и нестабильность структуры материала заготовок; колебания значений силы резания и неодинаковость закрепления заготовок в приспособлении; колебания температурного режима обработки; затупление режущего инструмента; колебания упругих отжатий элементов системы СПИД под влиянием нестабильных сил резания и др.

В результате возникновения случайных погрешностей происходит рассеяние размеров заготовок, обработанных при одних и тех же условиях. Для выявления и анализа закономерностей распределения размеров заготовок при их рассеянии применяют методы математической статистики.

5.1.1 Вероятностно-статистический метод анализа точности обработки

В теории вероятности и математической статистики разработаны методы, с помощью которых можно объективно оценить точностные характеристики реальных ТП изготовления партии деталей на станке с ЧПУ.

Среднее значение (математическое ожидание) определяет

положение центра группирования значений параметра в партии детали:

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{N}, \quad (5.1)$$

где L_i – значения параметра отдельных деталей; N – количество деталей в партии.

Поле рассеяния ω размеров X партии деталей (рисунок 5.1) называется такой интервал $L_{min} \leq X \leq L_{max}$ значений X , при котором вероятность q появления детали с размером X , меньшим L_{min} или большим L_{max} , пренебрежимо мала. Обычно принимают $q = 0,0027$.

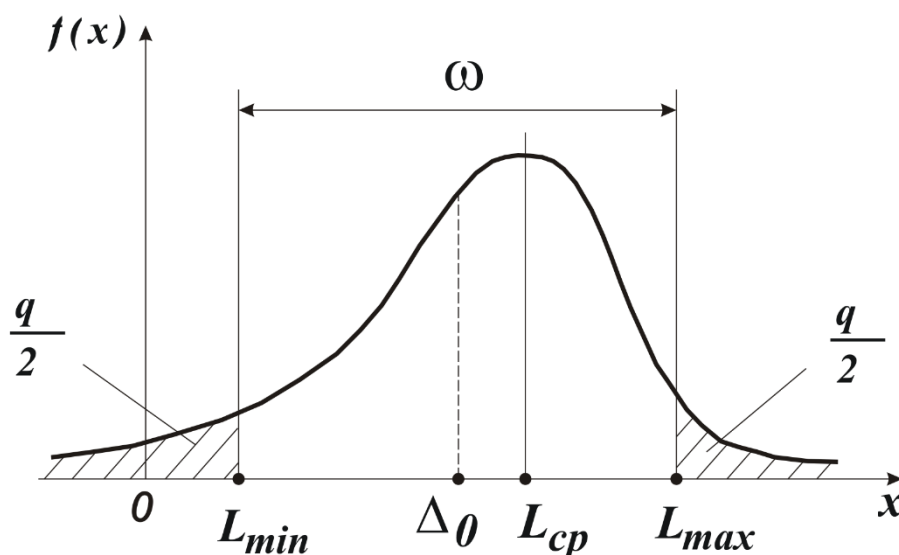


Рисунок 5.1 – Поле рассеяния размеров партии деталей:

$\omega = (L_{max} - L_{min})$ – поле рассеяния;

Δ_0 – координата середины поля рассеяния

Для упрощения расчетов можно брать среднее значение параметра L_i на отдельном интервале и умножать его на количество измерений n , попадающих в каждый отдельный интервал,

$$L_{cp} = \frac{\sum L_i n_i}{\sum n_i}. \quad (5.2)$$

Среднеквадратичное отклонение (дисперсия) характеризует величину рассеяния значений параметра в партии деталей относительно центра группирования:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{cp})^2 n_i}{N}}. \quad (5.3)$$

Среднеквадратичное отклонение σ показывает, насколько тесно сгруппированы возможные значения действительных размеров обработанных заготовок около центра группирования.

Исследования показали, что при обработке резанием на станках с ЧПУ партии заготовок распределение параметров подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса). Закон нормального распределения описывается уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{2\sigma}\right)^2}, \quad (5.4)$$

где в общем случае параметр $x = L_i - L_{cp}$ определяет положение центра группирования отклонений параметра в партии деталей.

При таком законе практическое рассеяние заданных размеров на 99,73 % укладывается в пределах $\pm 3\sigma$ от центра группирования, т. е. поле рассеяния размеров в партии деталей ω принимается равным 6σ (рисунок 5.2, а).

Чем меньше σ , тем незначительнее рассеяние размеров и выше точность обработки. Если при обработке имеются только случайные погрешности, то кривая рассеяния принимает симметричную форму. Постоянная систематическая погрешность форму кривой не меняет, но ее положение смещается в направлении оси абсцисс.

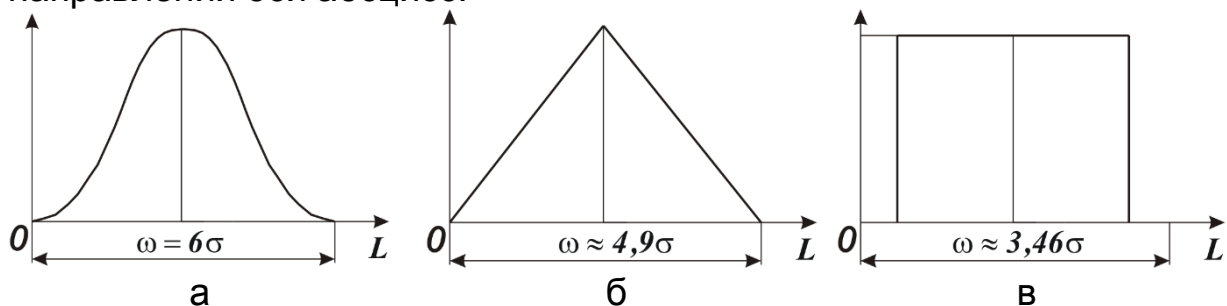


Рисунок 5.2 – Законы распределения параметров обработанной партии заготовок

В технологии машиностроения практическое значение кроме закона нормального распределения (закон Гаусса) имеют также следующие законы распределения:

– закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона). Этот закон (рисунок 5.2, б) описывает рассеяние случайной величины, если на нее действуют два доминирующих фактора, каждый из которых равномерно распределен;

– закон равной вероятности (рисунок 5.2, в). Наблюдается, когда на случайную величину действует доминирующий фактор, равномерно возрастающий со временем, например переменная систематическая погрешность, связанная с изнашиванием режущего инструмента. Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров заготовок повышенной точности (кавалитеты *IT 5 – 6*).

5.1.2 Технологическая точность обработки партии деталей

Во избежание брака при обработке производственной партии деталей необходимо выполнить два условия:

1) поле рассеяния размеров деталей не должно выходить за поле допуска T размера, т. е. необходимо соблюдать условие $6\sigma \leq T$;

2) центр рассеяния L_{cp} должен быть расположен таким образом, чтобы все размеры детали лежали в пределах допуска.

Выполнение первого условия обеспечивается правильным выбором точности станка для заданной работы, второго – правильной размерной наладкой инструмента.

Рассмотрим сначала вопросы, связанные с выбором станка по кривым нормального распределения. Возможны следующие три случая.

1. Случай, когда $T = 6\sigma$ и центр рассеяния совпадает с серединой поля допуска. Размеры деталей, обработанных на станке, лежат в пределах допуска, брак отсутствует.

2. Случай, когда $T > 6\sigma$, т. е. допуск больше поля рассеяния. Все детали годные, брак отсутствует.

Запас точности $\psi = T / (6\sigma)$ показывает, насколько надежно гарантировано отсутствие брака (при $\psi = 1,12$ процесс обработки считается надежным).

Коэффициент точности наладки l характеризует относительное смещение ΔL вершины кривой распределения от середины поля допуска: $l = \Delta L / T$. Значение ΔL может быть определено по формуле

$$\Delta L = L_{cp} - 0,5(L_{max} - L_{min}). \quad (5.5)$$

Наладка считается точной, если $l < l_{don}$, где l_{don} – допустимое значение коэффициента точности наладки:

$$l_{don} = (T - 6\sigma) / (2T) = (\psi - 1) / (2\psi). \quad (5.6)$$

Планировать обработку с большим запасом точности экономически нецелесообразно. Точность станка определяет его технологические возможности, точность детали определяет ее сложность. Минимальными затраты на обработку будут в том случае, если технологические возможности оборудования

соответствуют сложности выполняемой работы.

3. Случай, когда $T < 6\sigma$. Брак неизбежен даже при коэффициенте точности наладки $l = 0$. Колебания получаемых размеров превышают размеры допуска, и действительные размеры некоторых деталей лежат за пределами допуска.

Когда рассеяние не подчинено закону Гаусса, необходимо учитывать асимметрию распределения погрешностей.

Для сопоставления рассеяния при данном законе распределения и при законе нормального распределения применяют *коэффициент относительного рассеяния*

$$K = 6\sigma/T. \quad (5.7)$$

Для закона Гаусса $K = 1$, для треугольного распределения (закон Симпсона) $K = 1,22$, для закона равной вероятности $K = 1,73$.

Несимметричность распределения отклонений случайной величины относительно середины Δ_0 поля рассеяния размеров характеризует *коэффициент относительной асимметрии* (см. рисунок 5.1)

$$\alpha = \frac{L_{cp} - 0,5T}{0,5T}. \quad (5.8)$$

Для симметричного распределения $\alpha = 0$. Если среднее значение L_{cp} смещено к левой границе поля рассеяния, то $\alpha < 0$. В случае смещения центра группирования к правой границе поля рассеяния $\alpha > 0$.

Точность геометрических параметров детали обычно задает конструктор, она количественно определяется полем допуска на размер согласно чертежу или техническим условиям.

Технологическая точность обработки партии деталей количественно определяется законом распределения суммарной погрешности обработки через верхнее BO и нижнее HO отклонения:

$$BO = L_{cp} + 3\sigma/K; \quad HO = L_{cp} - 3\sigma/K. \quad (5.9)$$

Технологическая точность обработки партии деталей, часть из которых попадает в брак, показана на рис. 5.3.

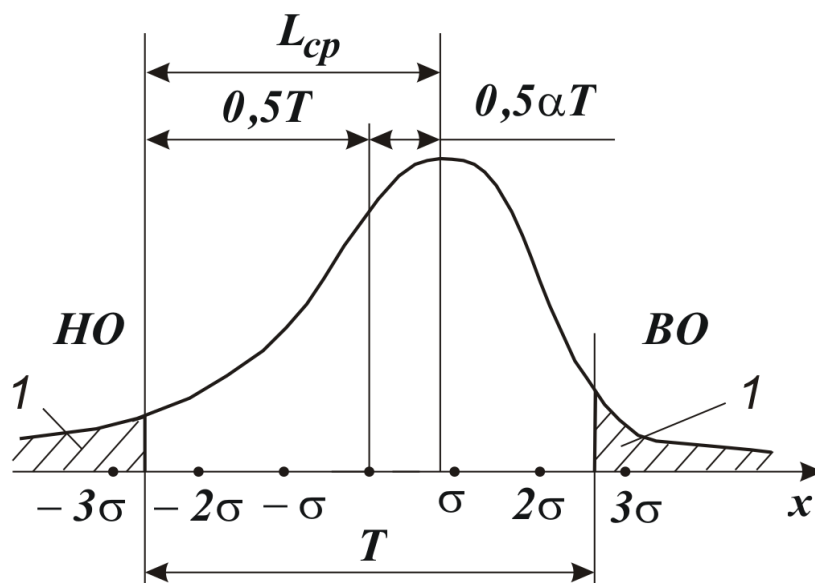


Рисунок 5.3 – Технологическая точность обработки партии деталей:
1 – бракованные детали

5.1.3 Метод точечных диаграмм

Исследование точности обработки с помощью кривых распределения не отражает последовательности обработки, т. е. изменения точности операции во времени. Другим недостатком метода кривых распределения является то, что контроль осуществляется после обработки всех заготовок. Это затрудняет предупреждение или устранение брака. Закономерно изменяющиеся погрешности не отделяются от случайных, влияние тех и других проявляется как рассеяние размеров.

Метод точечных диаграмм лишен этих недостатков. Суть данного метода исследования точности обработки партии деталей состоит в следующем. По оси абсцисс откладывают номера последовательно обрабатываемых заготовок, а по оси ординат – размеры, полученные в результате обработки. Точки, расположенные между двумя параллельными прямыми, ограничивающими поле допуска, соответствуют годным деталям, а остальные точки характеризуют брак. Составление таких диаграмм в ходе выполнения операции позволяет своевременно установить момент, когда необходима подналадка станка.

Точки, соответствующие размерам деталей отдельных групп, должны располагаться внутри поля допуска T . Если при обработке детали замечают, что точка, обозначающая получаемый размер, находится вблизи контрольной прямой линии, это значит, что при дальнейшей обработке может появиться брак. Контрольные линии обычно назначают для диапазона поля допуска от $0,2T$ до $0,8T$. Необходимо прекратить обработку и наладить станок, подналадить или сменить инструмент.

Полную картину точности обработки дает сочетание расчетно-аналитического и обоих статистических методов исследования точности, так как они дополняют друг друга. Расчеты выполняют для определения наиболее существенных погрешностей при освоении новых типовых ТП, а статистические методы применяют в условиях установившегося серийного производства.

5.1.4 Методика построения кривой распределения

Совокупность значений действительных размеров заготовок, обработанных при неизменных условиях, с указанием частоты повторения этих размеров называется *распределением размеров заготовок*.

Если результаты измерения параметра партии деталей известны, экспериментальную кривую распределения строят в такой последовательности:

1. Разбивают весь ряд значений исследуемого параметра на несколько равных интервалов, количество которых K увязывают с количеством деталей в партии. При $N = 50-100$ штук выбирают $K = 5...7$, при $N > 100$ штук принимают $K = 7...11$. Рассчитывают количество значений параметра, попадающих в каждый интервал, это количество называется *частотой параметра*. Если показания попадают на границу интервалов, то к каждому смежному интервалу прибавляют по 0,5 единицы *частоты параметра*.

2. По оси абсцисс откладывают общие значения выбранных интервалов и отмечают середины интервалов L_i .

3. По оси ординат в середине каждого интервала откладывают значения количества деталей партии (*частоту параметра*) n_i , отклонения которых попадают в данный интервал.

Результаты расчетов экспериментальной кривой распределения погрешностей удобно представлять в виде таблицы 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет кривой распределения погрешностей

Номер интервала	Граница интервалов	L_i	n_i	$\Delta_i n_i$	$L_i - L_{cp}$	$(L_i - L_{cp})^2$	$(L_i - L_{cp})^2 n_i$
Σ	-	-			-	-	
$L_{cp} = \frac{\sum L_i n_i}{\sum n_i} = \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (L_i - L_{cp})^2 n_i}{\sum n_i}} = \quad K = \frac{6\sigma}{T} =$							

Кривые распределения, полученные на основании результатов экспериментов, представляют собой ломаные линии. Такая

экспериментальная кривая распределения служит лишь для первой приближенной оценки точностных показателей процесса, правильности обработки результатов эксперимента, а также принятия решения о выборе теоретического закона для характеристики данного распределения.

Для объективной оценки точности обработки экспериментальная кривая распределения должна быть заменена на теоретическую, отражающую конкретный закон распределения, описываемый математическим уравнением.

5.2 Контроль отклонения от круглости

В качестве исследуемого параметра в лабораторной работе рассмотрена погрешность отклонения от круглости, возникающая при обработке партии цилиндрических деталей «Опора» по одной УП на токарном станке с ЧПУ модели ТПК-125ВН.

Отклонение от круглости – это наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля 1 до прилегающей окружности 2 минимально возможного диаметра (рисунок 5.4, а). Отклонение от круглости контрольного сечения цилиндрических деталей измеряют по схеме, изображенной на рисунке 5.4, б.

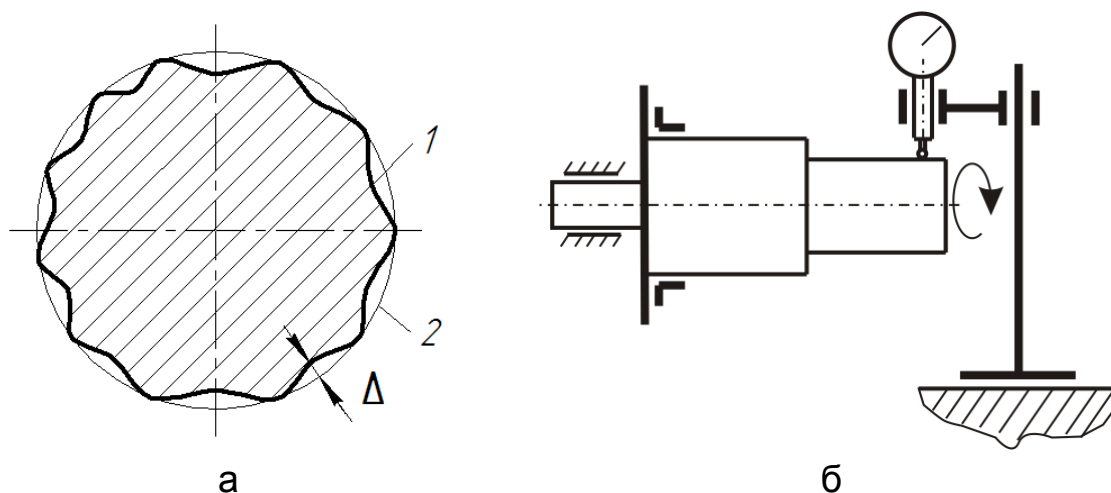


Рисунок 5.4 – Отклонение от круглости сечения детали

Измерения выполняют в точках, поворачивая деталь, закрепленную в контрольном приспособлении или патроне токарного станка, до возврата в исходное положение. Угол поворота контролируют по лимбу, закрепленному на детали. На основании полученных значений строят круговую или развернутую профилограмму круглости контрольного сечения детали.

Для каждого вида допусков формы или расположения стандартами установлено 16 степеней точности.

В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы и расположения установлены следующие уровни

относительной геометрической точности:

А – нормальная относительная геометрическая точность (допуски формы и расположения составляют 60 % от допуска на размер);

В – повышенная относительная геометрическая точность (соответственно 40 % от допуска на размер);

С – высокая относительная геометрическая точность (соответственно 25 % от допуска на размер).

В таблице 5.2 приведено соотношение квалитетов допусков размера со степенями точности формы и расположения в зависимости от относительной геометрической точности.

Таблица 5.2 – Соотношение квалитетов допусков размеров со степенями точности формы и расположения

Уровень относительной геометрической точности		Квалитет допуска на размер								
Нормальная	А			4	5	6	7	8	9	10
Повышенная	В		4	5	6	7	8	9	10	11
Высокая	С	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Степень точности		1	2	3	4	5	6	7	8	9

В таблице 5.3 приведены допуски круглости для различных интервалов номинальных размеров контролируемого параметра.

Таблица 5.3 – Допуски круглости по ГОСТ 24643-81 (фрагмент)

Степень точности	Интервал номинальных размеров, мм			
	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 120
	Допуски, мкм			
1	0,5	0,6	0,8	1,0
2	0,8	1,0	1,2	1,6
3	1,2	1,6	2,0	2,5
4	2,0	2,5	3,0	4,0
5	3,0	4,0	5,0	6,0
6	5,0	6,0	8,0	10,0
7	8,0	10,0	12,0	16,0
8	12,0	16,0	20,0	25,0
9	20,0	25,0	30,0	40,0

5.3 Комплектование лабораторной работы

1. Станок токарный с ЧПУ модели ТПК-125ВН.
2. Индикатор (абсолютная погрешность измерения – 0,001 мм).

3. Деталь «Опора».
4. Лимб угловой (абсолютная погрешность измерения – 1°).
5. Статистические результаты измерения отклонения от круглости партии деталей «Опора» (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Отклонения от круглости партии деталей «Опора»

Номер детали	Отклонение, мкм	Номер детали	Отклонение, мкм	Номер детали	Отклонение, мкм	Номер детали	Отклонение, мкм	Номер детали	Отклонение, мкм
1	7	12	9	23	7	34	5	45	2
2	10	13	7	24	11	35	7	46	7
3	9	14	10	25	2	36	12	47	4
4	1	15	5	26	8	37	7	48	10
5	5	16	7	27	11	38	1	49	7
6	8	17	12	28	6	39	9	50	11
7	3	18	4	29	6	40	5	51	9
8	7	19	6	30	10	41	7	52	3
9	11	20	8	31	3	42	4	53	6
10	8	21	4	32	8	43	8	54	9
11	1	22	9	33	13	44	11	55	–

5.4 Порядок проведения экспериментальных исследований

1. Ознакомиться с сутью вероятностно-статистического метода анализа точности обработки партии деталей.
2. Изучить методику определения отклонения от круглости.
3. Измерить контрольное сечение детали «Опора» по схеме на рисунке 5.3, б, результаты измерений оформить в виде таблицы 5.5.
4. Построить профилограмму круглости контрольного сечения детали «Опора» в выбранном масштабе.
5. На основе полученного значения отклонения от круглости и данных таблицы 5.4 заполнить таблицу расчетов экспериментальной кривой распределения в форме таблицы 5.1 и выполнить расчеты, необходимые для построения кривой распределения.
6. По данным таблиц 5.2 и 5.3 выбрать допуск на круглость для контрольного сечения детали «Опора».
7. Построить экспериментальную кривую распределения отклонения от круглости для партии деталей «Опора».
8. Построить точечную диаграмму отклонения от круглости для партии деталей «Опора» согласно данным таблицы 5.4.
9. Дать заключение о пригодности ТП токарной обработки на

станке с ЧПУ модели ТПК-125ВН для исследуемой партии деталей «Опора» по отклонению от круглости.

10. Оформить отчет о лабораторной работе.

11. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 5.5 – Результаты измерений контрольного сечения детали «Опора»

Номер измерения	1	2	3	4	...	12	13
Угол поворота лимба, град	0	30	60	90	...	330	360
Показание индикатора							

5.5 Содержание отчета

1. Краткий конспект, отражающий суть и причины возникновения погрешностей при обработке на станках с ЧПУ партии деталей.

2. Методика исследования точности обработки и построения кривых распределения.

3. Схема контроля отклонения от круглости сечения детали «Опора» (рисунок 5.4).

4. Результаты измерений по форме таблицы 5.5 и профилограмма круглости контрольного сечения детали «Опора».

5. Таблица расчетов по форме таблицы 5.1 и экспериментальная кривая распределения отклонения от круглости для партии деталей «Опора».

6. Точечная диаграмма отклонения от круглости для партии деталей «Опора».

7. Выводы по работе.

5.6 Контрольные вопросы

1. Что называется точностью детали и погрешностью обработки?

2. Перечислите погрешности обработки деталей на металлорежущих станках.

3. В чем заключается суть вероятностно-статистического метода исследования погрешностей для партии деталей?

4. Как влияют на форму распределения систематические постоянные и случайные погрешности?

5. Опишите методику построения экспериментальной кривой распределения для партии деталей.

6. Какие коэффициенты определяют степень рассеяния точности обработки партии деталей от нормального закона?

7. Как соотносятся качества допусков размеров со степенями точности формы деталей?

8. Предложите возможные технологические мероприятия по

повышению точности обработки партии деталей на станках с ЧПУ.

