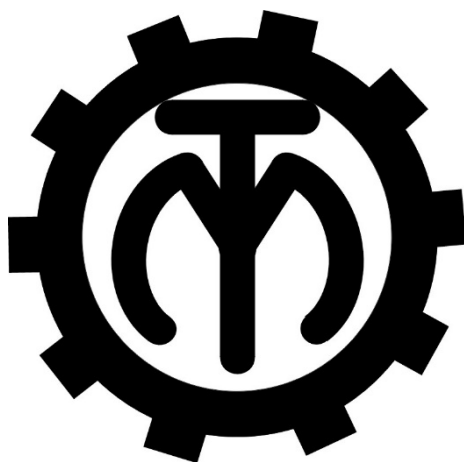


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
27.03.05 «Инноватика» дневной формы обучения*



Могилев 2024

УДК 531.7: 658.562
ББК 30.10: 65.9
М54

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «27» декабря 2023 г.,
протокол № 7

Составитель канд. техн. наук, доц. Е. Н. Антонова

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Благодарная

Методические рекомендации предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», содержат цель работ и подробные указания по их выполнению.

Учебное издание

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2024

Содержание

Введение.....	4
1 Погрешности измерений. Выбор средств измерений	5
2 Однократные измерения, обработка результатов однократных измерений	9
3 Многократные измерения, обработка результатов многократных измерений	13
4 Контроль радиального биения зубчатого колеса	16
5 Измерение размеров цилиндрических деталей абсолютным и относительным методами.....	21
6 Определение годности резьбы дифференцированным методом.....	28
Список литературы.....	39
Приложение А.....	40

Введение

Целью учебной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» является формирование практических навыков в области нормирования точности и единства измерений, использования средств контроля, точности и достоверности получения измерительной информации, контроля за соблюдением нормативно-технической документации и правил и порядка проведения сертификации продукции.

Методические рекомендации предназначены для проведения лабораторных работ и содержат цель работ, указания по их выполнению, контрольные вопросы, инструкции по мерам безопасности при проведении работ. Каждая работа оформляется в отчетном бланке, в который вносятся название и цель работы, наименование и метрологические характеристики измерительных приборов, результаты измерений, расчетные формулы и схемы, заключение о годности деталей.

1 Погрешности измерений. Выбор средств измерений

Цель работы: ознакомиться с погрешностями измерения и их расчетом; научиться выбирать средства измерения по точности.

1.1 Краткие теоретические положения

Результат измерения – значение физической величины, найденное путем ее измерения.

В зависимости от характера проявлений и причин возникновения погрешности бывают систематические, случайные, грубые.

Систематические погрешности Δ_c остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одного и того же параметра (могут быть субъективными, методическими и инструментальными).

Случайные погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$ изменяются при повторных измерениях одного и того же параметра случайным образом.

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности средств измерения или резких изменений условий измерений. Выявляются в результате обработки результатов измерений с помощью специальных критериев.

Общая погрешность измерений определяется суммой:

$$\Delta_{\text{изм}} = \pm(\Delta_c + \overset{\circ}{\Delta}). \quad (1.1)$$

В зависимости от формы выражения погрешности измерения различают абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютная погрешность

$$\Delta = x - x_u \text{ или } \Delta = x - x_o, \quad (1.2)$$

где x – результат измерения;

x_u или x_o – истинное или действительное значение.

Относительная погрешность

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100\% \text{ или } \delta = \pm \frac{\Delta}{x_o} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

Приведенная погрешность

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100\%, \quad (1.4)$$

где x_N – нормированное значение величины, например $x_N = x_{\text{max}}$ (x_{max} – максимальное значение измеряемой величины).

Все средства измерения, кроме угломерных приборов и приборов для измерения длины, разделены на классы точности, которые указываются в пас-

портных данных.

Типовые обозначения класса точности средств измерения:

- 1) $\textcircled{1,5}$ – указан в кружке в виде *относительной погрешности* $\delta = 1,5 \%$;
- 2) 1,5 – без кружка в виде *приведенной погрешности* $\gamma = 1,5 \%$;
- 3) 0,02/0,01 – двумя числами в виде двух *приведенных погрешностей* – конечного и начального деления шкалы $\gamma_{\text{кон}} = 0,02 \%$, $\gamma_{\text{нач}} = 0,01 \%$.

Таблица 1.1 – Формулы вычисления погрешностей и обозначение классов точности средств измерения

Вид погрешности	Расчетная формула	Номер формулы	Обозначение класса точности	
			в НТД	СИ
Абсолютная	$\Delta = \pm 0,2A$	(1)	N или класс точности III	N или III
Относительная	$\delta = \pm 0,5 \%$	(2)	0,5	$\textcircled{0,5}$
	$\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{x}{x_0} \right - 1 \right) \right] \cdot 100 \%$	(3)	0,02/0,01	0,02/0,01
	$\delta(x) = \left[\frac{0,02}{x} + \frac{0,5}{100} + \frac{x}{10^6} \right] \cdot 100 \%$	(4)	C или класс точности II	C или II
Приведенная	При $x_N = x_k$ $\gamma = 1,5 \%$	(5)	1,5	1,5
	$\gamma = \pm 0,5 \%$	(6)	0,5	0,5

Пример 1 – Отсчет по шкале прибора с пределами измерения 0...50 А и равномерной шкалой составил 25 А. Пренебрегая другими видами погрешностей измерения, оценить пределы допускаемой абсолютной погрешности Δ этого отсчета при использовании различных средств измерения (СИ) классов точности: 0,02/0,01; $\textcircled{0,5}$; 0,5.

Решение

1 Для СИ класса точности 0,02/0,01 относительная погрешность рассчитывается по формуле (3) таблицы 1.1. Выразив абсолютную погрешность Δ из формулы (1.3) через относительную δ , получим

$$\Delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \cdot x \cdot 100 \%,$$

где c , d – конечное и начальное значения относительной погрешности к концу диапазона, $c = 0,02$, $d = 0,01$;

x_k – конечное значение предела измерения;

x – показания прибора при измерении (отсчет).

Подставив численные значения, получим

$$\Delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left| \frac{50}{25} \right| - 1 \right) \right] \cdot 25 \cdot 0,01 = 0,0075 \approx 0,008 \text{ А} .$$

2 Для СИ класса $\textcircled{0,5}$ относительная погрешность $\delta = \pm 0,5 \%$. Из формулы (1.3) выразим абсолютную погрешность:

$$\Delta = \pm 25 \cdot 0,5 \cdot 0,01 = \pm 0,125 \text{ А} .$$

3 Для СИ класса точности $\gamma = 0,5$ – приведенная погрешность $\gamma = 0,5 \%$, которая рассчитывается по формуле (1.4), в которой $x_N = 50$, отсюда выразим Δ :

$$\Delta = \pm 50 \cdot 0,5 \cdot 0,01 = \pm 0,25 \text{ А} .$$

1.2 Выбор средств измерений

При выборе СИ учитывают совокупность показателей метрологических, эксплуатационных и экономических.

При выборе СИ по метрологическим характеристикам цена деления шкалы должна выбираться с учетом заданной точности измерения. Если необходимо контролировать с точностью до 0,01 мм, то и СИ выбирают с ценой деления 0,01 мм, СИ с более грубой шкалой внесет дополнительные субъективные погрешности, а более точные СИ стоят дороже.

Самый простой способ выбора СИ – выбор по точности, предусматривающий сравнение допускаемой погрешности измерения $\delta_{изм}$, которая определяется по таблице в зависимости от качества точности, измеряемого размера и его номинального значения, и допускаемой погрешности СИ $\Delta_{си}$, при этом должно выполняться условие $\pm \Delta_{си} \leq \delta_{изм}$.

Допускаемая погрешность измерения δ – это наибольшее значение погрешности, при которой полученный в результате измерения размер может быть признан действительным. В соответствии с ГОСТ 8.051–82 допускаемая погрешность измерения составляет от 20 % до 35 % допуска на измеряемый размер. В таблице А.1 приведены значения допусков и допускаемых погрешностей измерения для классов от 5-го до 10-го.

Пример 2 – Выбрать СИ для контроля вала диаметром $75,0_{-0,02}$ мм.

Решение

По таблице А.1 определяем $\delta_{изм} = 5,0$ мкм. При выборе ориентируемся на значения допуска на заданный размер $Td = 20$ мкм. Выбираем СИ для вала. Это может быть штангенциркуль, микрометр или рычажная скоба (таблицы А.2–А.7).

Допускаемая погрешность штангенциркуля – $\Delta_{си} = \pm 0,1$ мм, тогда величина допуска составит 200 мкм, поэтому не выполняется условие выбора СИ. Мик-

рометр МК-75 – $\Delta_{cu} = \pm 0,004$ мм, допуск составит 8 мкм. Условие также не выполняется. Скоба рычажная СР-75 с ценой деления 0,02 мм – $\Delta_{cu} = \pm 0,002$ мм, допуск 4 мкм – условие выполняется, т. к. $4 < 5$.

1.3 Порядок выполнения работы

1 Записать в отчете тему и основные теоретические положения.

2 Для заданных размеров валов выбрать средство измерения из имеющихся в лаборатории (микрометры, штангенциркули). При выборе использовать пример 2.

Размеры валов: $18_{-0,2}$; $30^{+0,04}$; $58_{-0,08}$; $60^{+0,7}$.

3 Для выбранных средств измерения определить класс точности и записать в отчет.

4 Выполнить нижеследующие задания с приведением расчетов.

Задания

1 Мера воспроизводит сигнал значением 1,0. Измерительный прибор показывает 1,1. Относительная погрешность измерения δ , выраженная в процентах, будет равна:

а) $\delta = 100$ %; б) $\delta = 1,0$ %; в) $\delta = 1,1$ %; г) $\delta = 10$ %.

2 При измерении размера были следующие источники погрешностей измерения: средства измерений $\Delta_{cu} = \pm 0,05$ мм, отсчёта оператора $\Delta_{on} = \pm 0,01$ мм. Реальная погрешность измерения будет равна:

а) 0,1 мм; б) $\pm 0,05$ мм; в) $\pm 0,06$ мм; г) $\pm 0,12$ мм.

3 Вид погрешности в формуле $\delta = (A - x_u) / x_u$ является:

а) относительным; б) приведённым; в) абсолютным; г) систематическим.

4 Если при измерении напряжения двумя вольтметрами у первого класс точности 1,0, предел измерения 300 В, а у второго соответственно 2,5 и 250 В, то наибольшая возможная разница показаний равна:

а) 9,25 В; б) 3,25 В; в) 3,15 В; г) 6,25 В.

5 Для контроля вала, диаметр которого равен $(30 \pm 0,012)$ мм, целесообразнее использовать:

а) микрометр с погрешностью измерения 0,005 мм;
 б) оптиметр с погрешностью измерения 0,0003 мм;
 в) универсальный микроскоп с погрешностью измерения 0,001 мм;
 г) штангенциркуль с погрешностью измерения 0,05 мм.

6 При контроле размера $100_{-0,020}^{+0,034}$ предел допускаемой погрешности измерения следует принять равным:

а) 0,54; б) 0,014; в) 0,027; г) 0,034.

7 При контроле линейных размеров случайная погрешность измерения не должна превышать ... от допустимой погрешности измерения (не менее двух вариантов ответа):

а) 0,6; б) 0,2; в) 3/5; г) 0,1.

Контрольные вопросы

- 1 Какие погрешности измерений бывают?
- 2 Из каких компонентов складывается общая погрешность измерения?
- 3 Как рассчитываются абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
- 4 Привести обозначения классов точности средств измерения.

Инструкция по мерам безопасности при проведении лабораторных работ № 1 и 2

- 1 До начала работы ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации штангенциркуля, микрометра, нутромера.
- 2 Перед началом работы убедитесь в исправности приборов. В случае обнаружения неисправности или повреждения поставьте в известность преподавателя.
- 3 Инструменты (штангенциркуль, микрометр) и детали (валы ступенчатые) на рабочем столе размещать так, чтобы исключить их падение.
- 4 После окончания работы инструменты сложите в коробки. Инструменты и детали сдайте преподавателю или лаборанту. Приведите в порядок рабочее место.

2 Однократные измерения, обработка результатов однократных измерений

Цель работы: ознакомиться с методикой обработки однократных измерений, с расчетом доверительных границ истинного значения.

Оборудование рабочего места

Ступенчатый валик; микрометр типа МК; штангенциркуль электронный.

2.1 Краткие теоретические положения

При однократных измерениях, чтобы избежать промахов, делают два-три измерения и за результат принимают *среднее* значение.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.1)$$

Предельная погрешность однократных измерений в основном определяется классом точности средства измерения и в общем виде определяется соотношением $\Delta_{изм} = 0,7\Delta_{си}$.

Общая погрешность измерения определяется по формуле (1.1). Реально погрешность однократного измерения с вероятностью $P = 0,90 \dots 0,95$ не превосхо-

дит $\Delta_{изм} < (2 \dots 2,5)\sigma_x$, где σ_x – среднее квадратическое отклонение параметра.

Погрешность прямого измерения определяется составляющими погрешности результата однократного измерения: инструментальная составляющая погрешности измерений – погрешность средства измерений; погрешность отсчета; погрешность метода.

При прямых однократных измерениях оценивают только систематическую погрешность Δ_c , связанную с видом применяемых приборов. Это либо приведенная погрешность γ , либо погрешность отсчета $\Delta_{отсч}$. Следовательно, необходимо знать либо класс точности прибора, либо цену деления шкалы измерительного прибора: $\Delta_c = \Delta_{отсч}$ или $\Delta_c = \Delta_{си}$.

Указатель значения измеряемой величины может занимать любое положение на шкале прибора (линейки, рулетки, микрометра, стрелочных весов, термометра и т. п.). В этом случае погрешность отсчета равна половине цены деления шкалы. Например, точность барабана микрометра равна 0,01 мм, цена деления линейки – 1 мм. Тогда погрешность отсчета распределения для микрометра 0,005 мм, для линейки – 0,5 мм.

Погрешность табличных величин, если она не оговорена в справочнике, берется равной 5 единицам в разряде, следующем за младшим. Например, если значение g берется равным 9,8 м/с², то $\Delta g = 0,05$ м/с². Если же взять величину g равной 9,81 м/с², то $\Delta g = 0,005$ м/с².

К погрешности табличной величины сведется и погрешность измерения массы, т.к. она определена по эталонным грузам (как правило, выгравирована на используемых грузах и перегрузках).

При записи значений измеряемых величин нули справа указывают на точность измерений. Например, такая запись длины $L = 1,00$ м предполагает погрешность $\Delta L = 0,005$ м, а при записи $L = 1$ м, подразумевается $\Delta L = 0,5$ м. Аналогично, запись значений масс в виде $m = 100$ г и $m = 0,1$ кг неэквивалентна с точки зрения точности. Правильная запись $m = 100$ г = 0,100 кг.

Еще один пример, если $x = 1,26 \cdot 10^3$, то погрешность $\Delta x = 0,005 \cdot 10^3 = 5$, а при записи $x = 1260$ получим погрешность $\Delta x = 0,5$, т. е. в 10 раз меньше.

Алгоритм действий при обработке однократных измерений.

1 Предварительно устанавливают необходимую погрешность измерения $\delta_{изм}$ по таблице А.1.

2 Исправляют результаты наблюдений исключением (если это возможно) систематической погрешности:

$$x_{\partial} = x - \Delta_c. \quad (2.2)$$

3 Находят среднее квадратическое отклонение показаний σ_x .

4 Определяют случайную погрешность:

$$\Delta = \pm t_p \cdot \sigma_x. \quad (2.3)$$

Коэффициент t_p для заданной доверительной вероятности определяют по таблице Лапласа.

5 Находят границы доверительного интервала для случайной погрешности:

$$x = x_{\partial} \pm \overset{\circ}{\Delta}. \quad (2.4)$$

Пример – При измерении температуры T в помещении термометр показывает $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_m = 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Систематическая погрешность измерения $\Delta_c = +0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Указать доверительные границы для истинного значения температуры с вероятностью $P = 0,9973$ ($t_p = 3$).

Решение

Границы истинного значения температуры при однократных измерениях определяются по зависимости (2.4). Для нахождения x_{∂} необходимо из результата измерения вычесть систематическую погрешность:

$$\begin{aligned} x_{\partial} &= x_{\text{изм}} - \Delta_c; \\ x_{\partial} &= 26 - 0,5 = 25,5\text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Случайную погрешность рассчитаем по формуле (2.3):

$$\overset{\circ}{\Delta} = 3 \cdot 0,3 = 0,9\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Тогда границы доверительного интервала для случайной погрешности составят $25,5 - 0,9 \leq T \leq 25,5 + 0,9$. Окончательно запишем: $24,6 \leq T \leq 26,4$.

2.2 Порядок выполнения работы

- 1 Проверить настройку микрометра.
- 2 Измерить диаметр вала в одном сечении трижды и записать их в отчет.
- 3 Используя алгоритм действий при обработке однократных измерений рассчитать:

- среднее арифметическое результатов трех измерений по формуле (2.1);
- систематическую погрешность микрометра, приняв $\Delta_c = \Delta_{\text{отсч}}$;

$$\Delta_{\text{отсч}} = C/2,$$

где C – цена деления микрометра, мм;

- действительное значение измеряемой величины x_{∂} ;
- среднее квадратическое отклонение для трех показаний $\sigma_{\bar{x}}$:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2}{3(3-1)}};$$

– случайную погрешность измерений по формуле (2.3) для вероятности $P = 0,9973$ ($t_p = 3$);

– доверительные границы.

Задания

1 Поправка к результату однократного измерения при систематической погрешности деления шкалы $+1,0$ равна:

- а) $\pm 1,0$; б) $-1,0$; в) $+1,0$; г) -2 .

2 Милливольтметр термоэлектрического термометра класса точности $0,5$ с пределами измерения от $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ показывает $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Указать предел допускаемой погрешности прибора в градусах Цельсия:

- а) 2; б) 1; в) 3; г) 1,5.

3 При измерении усилия динамометр показывает 1000H , погрешность градуировки равна -50 H . Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_F = 10\text{ H}$. Доверительный интервал для истинного значения измеряемого усилия с вероятностью $P = 0,9544$ ($t_p = 2$) равен:

- а) $F = (1000 \pm 60)\text{ H}$, $P = 0,9544$; в) $F = (950 \pm 20)\text{ H}$, $P = 0,9544$;
б) $F = (1000 \pm 20)\text{ H}$, $t_p = 2$; г) $F = (1050 \pm 20)\text{ H}$, $P = 0,9544$.

4 При измерении толщины древесины отсчёт по штангенциркулю равен 49 мм . Среднеквадратическое отклонение отсчёта $\sigma_h = 0,5\text{ мм}$. Погрешность от износа губок штангенциркуля $\Delta_s = -0,8\text{ мм}$. Доверительными границами для истинного значения толщины с вероятностью $P = 0,9973$ ($t_p = 3$) будут:

- а) $46,7 \leq h \leq 49,7\text{ мм}$, $P = 0,9973$; в) $48,3 \leq h \leq 51,3\text{ мм}$, $P = 0,9973$;
б) $47,5 \leq h \leq 50,5\text{ мм}$, $t_p = 3$; г) $47,7 \leq h \leq 50,3\text{ мм}$, $P = 0,9973$.

Контрольные вопросы

- 1 Какие измерения принимаются за однократные?
- 2 Какое значение принимается за истинное (действительное) при определении доверительного интервала?
- 3 Что такое доверительный интервал? Как он рассчитывается?
- 4 По какой таблице следует определять при однократных измерениях коэффициент t_p для заданной доверительной вероятности?
- 5 Как рассчитывается случайная погрешность?

3 Многократные измерения, обработка результатов многократных измерений

Цель работы: ознакомиться с методикой обработки многократных измерений, с расчетом доверительных границ истинного значения.

Оборудование рабочего места

Выборка однотипных валиков – 10 шт., обработанных на настроенном станке; микрометр типа МК; штангенциркуль электронный.

3.1 Краткие теоретические положения

Последовательность обработки результатов многократных измерений включает следующие этапы.

1 Исправляют результаты наблюдений исключением (если это возможно) систематической погрешности: $x_{\partial} = x - \Delta_c$.

2 Оценкой истинного значения по результатам многократных измерений является среднее арифметическое значение i -х измерений \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (3.1)$$

3 Вычисляют выборочное среднеквадратическое отклонение (СКО) от значения погрешности измерений σ_x . В зависимости от количества измерений формула видоизменяется:

– при $n \geq 20$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}; \quad (3.2)$$

– при $n < 20$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3.3)$$

При оценке погрешностей окончательного результата для $n = 5...6$ (точечной оценке) рассчитывается опытное СКО:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (3.4)$$

4 Исключают промахи в зависимости от числа измерений n , используя различные критерии (Шовине, Романовского, Пирсона, метод трех сигм, первый и второй составной критерий).

5 Определяют закон распределения случайной составляющей.

6 При заданном значении доверительной вероятности P ($P = 0,9; 0,95; 0,98; 0,99$) и числе измерений n по таблицам определяют коэффициент Стьюдента t_p ($t_{0,9}; t_{0,95}$).

7 Находят границы доверительного интервала для случайной погрешности:

$$\overset{\circ}{\Delta} = \pm \frac{t_p \cdot \sigma_x}{\sqrt{n}}. \quad (3.5)$$

$$x = \bar{x} \pm \overset{\circ}{\Delta}. \quad (3.6)$$

Пример – При многократном измерении отверстия получены отклонения от настроенного размера D : 0, +1, +2, +3, +1, –1 мкм. При вероятности $P = 0,982$ коэффициент Стьюдента $t_p = 3,465$. Записать результат измерения.

Решение

Границы истинного значения величины при многократных измерениях определяются по зависимости (3.6).

Вычисляем среднее арифметическое измеренных значений:

$$\bar{x} = (0 + 1 + 2 + 3 + 1 - 1) / 6 = +1.$$

Среднее квадратическое отклонение показаний определяем по формуле (3.3):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(0-1)^2 + (+1-1)^2 + (+2-1)^2 + (+3-1)^2 + (+1-1)^2 + (-1-1)^2}{6-1}} = \sqrt{2} = 1,41.$$

Случайную погрешность рассчитываем по формуле (3.5):

$$\overset{\circ}{\Delta} = \pm \frac{3,465 \cdot 1,41}{\sqrt{6}} = 2.$$

Границы истинного значения величины $+1 - 2 \leq x \leq +1 + 2$ и результат измерения запишем в следующем виде: $-1 \leq x \leq +3$, $P = 0,982$.

3.2 Порядок выполнения работы

1 Провести наладку инструментов для измерений.

2 Провести измерение размеров деталей выборки.

Каждая деталь, входящая в выборку измеряется при помощи универсально-измерительных средств (микрометр или штангенциркуль электронный). Цена деления шкалы измерительного прибора не должна превышать величины $\Delta_{изм} = (0,10...0,15) IT$, где IT – допуск на размер детали по чертежу. Результаты

измерений действительных размеров занести в отчет.

3 Обработать результаты измерений, используя последовательность, приведенную в примере.

4 Оценить доверительный интервал истинного значения для вероятности 0,95 ($t_p = 2,228$).

Задания

1 При многократном измерении отверстия получены отклонения от настроенного размера D : 0, +1, +2, +3, +1, -1 мкм. При вероятности $P = 0,982$ коэффициент Стьюдента $t_p = 3,465$. Результат измерения следует записать как:

- а) $-4 \leq D \leq +6$ мкм, $P = 0,982$; в) $-1 \leq D \leq +3$ мкм, $P = 0,982$;
 б) $-2 \leq D \leq +3$ мкм, $P = 0,982$; г) $-1 \leq D \leq +3$ мкм, $t_p = 3,465$.

2 Проведены 11 равноточных измерений напряжения. Результаты следующие: 130,2; 130,3; 130,2; 130,3; 130,2; 129,6; 129,8; 129,9; 130,1; 129,9 и 129,3 В. Результаты измерений распределены нормально, дисперсия не известна. Оценить доверительный интервал истинного значения для вероятности 0,95 ($t_p = 2,228$).

- а) $(130,00 \pm 0,22)$ В; $P = 0,95$; в) $(125,00 \pm 0,22)$ В; $t_p = 2,228$;
 б) $(130,00 \pm 0,28)$ В; $P = 0,95$; г) $(135,00 \pm 0,24)$ В; $t_p = 2,228$.

3 При многократном взвешивании массы m получены значения: 94, 98, 101, 96, 94, 93, 97, 95 и 96 кг. Доверительный интервал для истинного значения массы с вероятностью $P = 0,98$ ($t_p = 2,986$) равен:

- а) $m = (96,0 \pm 6,6)$ кг, $t_p = 2,986$; в) $m = (96,0 \pm 2,2)$ кг, $P = 0,98$;
 б) $m = (96 \pm 3)$ кг, $P = 0,98$; г) $m = (97,0 \pm 2)$.

Контрольные вопросы

1 Какие измерения относятся к многократным?

2 Какое значение принимается за истинное при определении доверительного интервала?

3 Что такое доверительный интервал? Как он рассчитывается?

4 При заданном значении доверительной вероятности и числе измерений какой коэффициент определяют?

5 Что является оценкой истинного значения многократных измерений?

4 Контроль радиального биения зубчатого колеса

Цель работы: ознакомиться с биениемером Московского инструментального завода (МИЗ); освоить приемы наладки прибора и отсчета отклонений, научиться строить диаграммы и вычислять действительную величину радиального биения.

Оборудование рабочего места

1 Индикаторный прибор Московского инструментального завода (МИЗ) – биениемер с комплектом наконечников с метрологическими характеристиками: пределы измерения – диаметр до 400 мм, модуль от 1 до 10 мм, наибольшее расстояние между центрами – 300 мм, высота центров – 300 мм, перемещение измерительной каретки – 100 мм, перемещение измерительного наконечника – 40 мм.

2 Многооборотный индикатор 2 МИГ сценой деления индикатора – 0,001 мм.

3 Оправка с зубчатым колесом модулем 2,5 мм и числом зубьев 21, с посадкой на оправку 15 H7/n7.

4 Бланк отчета.

4.1 Теоретические положения

Система допусков цилиндрических (ГОСТ 1643–81) передач устанавливает 12 степеней их точности и точности зубчатых колес, обозначаемых в порядке убывания 1, 2, ..., 12.

С целью обеспечения оптимальных требований к зубчатой передаче в зависимости от ее служебного назначения для каждой степени точности устанавливаются *независимые нормы* допускаемых отклонений параметров, определяющих *кинематическую точность* колес и передачи, *плавность работы* и *контакт* зубчатых колес в передаче.

Нормы кинематической точности определяются показателями, которые обеспечивают точность вращения колес передачи, т. е. совпадение углов поворота ведущего и ведомого колеса. К этим показателям предъявляются высокие требования при изготовлении колес *отсчетных передач* (измерительных приборов, делительных механизмов металлорежущих станков и т. п.).

Нормы плавности работы определяются показателями, которые обеспечивают бесшумную работу передачи и отсутствие вибраций. Эти показатели важны для колес, работающих в *скоростных передачах*. Для этих передач степень точности по нормам плавности выбирается на основе расчета динамики передачи, вибраций и шумовых явлений.

Нормы контакта зубьев зубчатых колес определяются показателями, которые обеспечивают контактную прочность зубьев колеса. Повышенные требования к этим показателям предъявляются при изготовлении зубчатых колес *силовых передач*. Степень точности силовой передачи по нормам контакта назначаются по результатам расчета передачи на прочность и долговечность.

К зубчатым (червячным) колесам *передач общего назначения* не предъявляются повышенные требования по показателям, определяющим нормы кинематической точности, плавность и контакт зубьев колес. В этом случае при выборе степени точности можно учитывать опыт эксплуатации аналогичных передач. Для косозубых цилиндрических зубчатых передач редукторов общего назначения с окружной скоростью до 12 м/с рекомендуется точность 8-6-7 и 8-8-6.

Степень точности вновь проектируемых зубчатых передач и колес в большинстве случаев устанавливаются в зависимости от окружной скорости колес.

Кроме степеней точности, ГОСТ 1643–81 устанавливает шесть **видов сопряжения** зубьев колес в передаче (А, В, С, D, E, H), которые определяют величину гарантированного, т. е. наименьшего из возможных в передаче бокового зазора между нерабочими профилями зубьев. В большинстве случаев вид сопряжения передачи выбирается по величине гарантированного бокового зазора.

Боковой зазор – это зазор между нерабочими профилями зубьев, который необходим для размещения смазки, компенсации погрешностей изготовления при сборке и для компенсации изменения размеров от температурных деформаций.

Полное обозначение точности цилиндрического зубчатого колеса на чертеже выглядит следующим образом: 8-6-7С ГОСТ 1643–81, где 8 – степень точности по нормам кинематической точности; 6 – степень точности по нормам плавности работы; 7 – степень точности по нормам контакта зубьев; С – вид сопряжения по боковому зазору.

Кинематическую погрешность цилиндрических зубчатых колес, обрабатываемых на зуборезных станках методом обката, вызывает погрешность цепей обката зуборезного станка, несовпадение центра основной окружности колеса с рабочей осью его вращения, неточность зуборезного инструмента, погрешность его установки и т. д. Кинематическая точность зубчатых колес зависит от погрешностей, суммарное влияние которых обнаруживается один раз за оборот колеса. К ним относятся погрешность обката F_{cr} , накопленная погрешность шага F_{pr} , радиальное биение зубчатого венца F_{rr} , колебания длины общей нормали F_{vwr} и измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F_{ir}'' .

Радиальным биением зубчатого венца F_{rr} называется разность действительных предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса (от его рабочей оси) (рисунок 4.1). Практически радиальное биение определяется разностью расстояний от рабочей оси колеса до постоянной хорды S_c зубьев.

Радиальное биение зубчатого венца вызвано неточным совмещением рабочей оси колеса с технологической осью при обработке зубьев, а также радиальным биением делительного колеса станка.

Рабочая ось колеса – ось, вокруг которой оно вращается в передаче. Все точностные требования установлены для колес, находящихся на рабочих осях.

Технологическая ось – ось, вокруг которой вращается колесо при обработке зубьев.

Исходный контур – контур инструмента, которым нарезаются зубья на

колесе, например рейка, фреза червячная модульная.

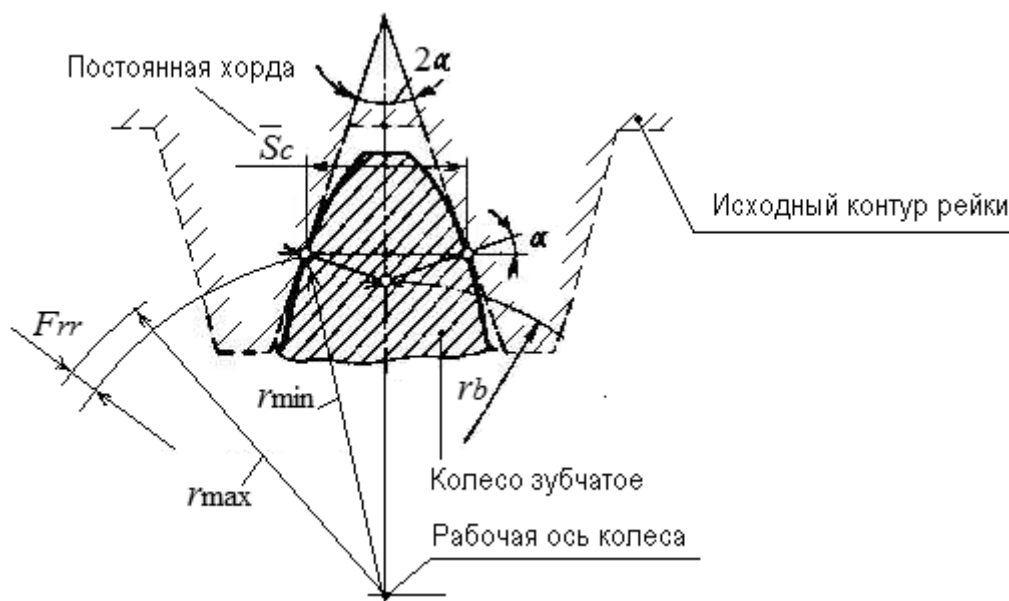


Рисунок 4.1 – Схема к определению радиального биения

4.2 Порядок выполнения работы

- 1 Выбор наконечника, установка его в прибор.
- 2 Измерение отклонений в каждой впадине зуба и запись их в отчетный бланк.
- 3 Построение диаграммы и подсчет действительной величины радиального биения.
- 4 Заключение о годности по допуску на радиальное биение зубчатого венца.

4.3 Измерение радиального биения цилиндрического зубчатого колеса

4.3.1 Описание биенимера (МИЗ).

Биенимер (рисунок 4.2) имеет станину 1 с кронштейнами и несущими центрами, измерительную бабку 2, несущую каретку 3 с измерительным устройством. Каретка 3 может перемещаться по направляющим станины вращением маховичка 4. Перемещение измерительного механизма осуществляется маховичком 5, крепление – рукояткой 6.

4.3.2 Последовательность измерений на биенимере.

Приступая к измерению радиального биения венца зубчатого колеса, необходимо тщательно протереть зубья проверяемого колеса, центры, центровые отверстия оправки и измерительный наконечник.

Измерение радиального биения необходимо проводить в следующем порядке.

- 1 Измеряемое колесо устанавливается в центрах прибора.

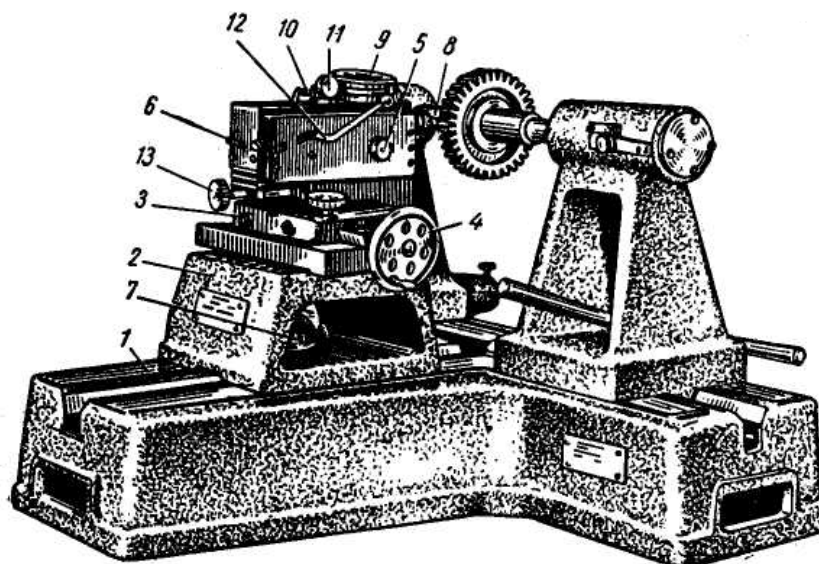


Рисунок 4.2 – Биениемер

2 В цанге измерительного стержня закрепляется измерительный наконечник, соответствующий модулю колеса.

3 Измерительная бабка вручную подводится к измеряемому колесу так, чтобы между ним и наконечником остался зазор в 4...5 мм, и крепится рукояткой 7.

4 Вращением маховичка 5 измерительное устройство подводится к колесу, чтобы наконечник 8 стал во впадину, дается натяг 1,5...2 мм и наконечник закрепляется.

5 Измерительный наконечник индикатора 9 подводится к упору 10, индикатору сообщается натяг 1,5...2 оборота, и он крепится винтом 11. Шкала индикатора устанавливается на нулевое положение поворотом колеса рукой до плотного соприкосновения впадины зуба с наконечником. Это положение (зуб или впадина) необходимо отметить на колесе мелом. В отчетный бланк записать нулевой отсчет напротив зуба № 1.

6 Правой рукой рукояткой 12 наконечник выводится из впадины зуба.

7 Зубчатое колесо поворачивают левой рукой, чтобы следующая впадина встала против измерительного наконечника, рукояткой 12 снова вводят наконечник во впадину, создают поворотом колеса контакт с боковыми поверхностями и берут отсчет по индикатору.

8 Измерения проводят последовательно в каждой впадине. Количество измерений соответствует числу зубьев колеса. Результаты измерений заносят в отчетный бланк.

4.4 Обработка результатов измерений, заключение о годности

Действительное значение радиального биения F_{rr} определяется разностью между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора:

$$F_{rr} = F_{rr_{\max}} - F_{rr_{\min}}.$$

По результатам измерений строится диаграмма радиального биения зубчатого венца в отчетном бланке (рисунок 4.3).

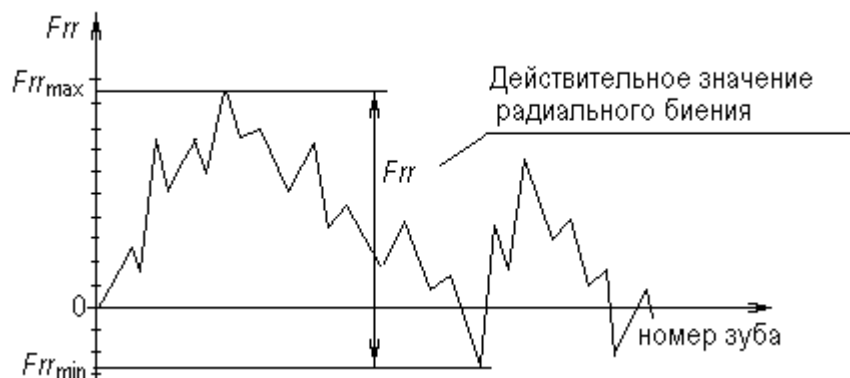


Рисунок 4.3 – Диаграмма радиального биения зубчатого венца

Заключение о годности зубчатого колеса по радиальному биению. По заданной преподавателем степени точности колеса выбрать из таблицы 4.1 допуск на радиальное биение, записать в отчетный бланк в миллиметрах.

Сравнивая действительное значение радиального биения F_{rr} (полученное в результате измерений) с допустимым F_r по ГОСТ 1643–81 (см. таблицу 4.1) дать заключение о годности колеса по этому показателю. Если $F_{rr} < F_r$, то зубчатое колесо по радиальному биению годно. Оформить отчет.

Таблица 4.1 – Допуски на радиальное биение зубчатых венцов по ГОСТ 1643–81

В микрометрах

Степень точности	Модуль	Диаметр делительной окружности			
		До 50	Св. 50 до 125	Св.125 до 280	Св. 280 до 500
6	Св. 2 до 3,55	22	28	36	45
	Св. 3,55 до 6	24	30	38	48
7	Св. 2 до 3,55	32	40	50	63
	Св. 3,55 до 6	34	42	53	67
8	Св. 2 до 3,55	40	50	63	80
	Св. 3,55 до 6	42	53	67	85
9	Св. 2 до 3,55	50	63	80	100
	Св. 3,55 до 6	53	67	85	105
10	Св. 2 до 3,55	63	80	100	130
	Св. 3,55 до 6	67	85	105	140
11	Св. 2 до 3,55	80	95	125	150
	Св. 3,55 до 6	85	105	130	160
12	Св. 2 до 3,55	95	120	150	190
	Св. 3,55 до 6	105	130	160	200

Контрольные вопросы

- 1 Назовите степени и нормы точности зубчатых колес.
- 2 Какую норму точности зубчатого колеса определяет радиальное биение зубчатого венца?
- 3 От каких погрешностей зависит кинематическая точность цилиндрического зубчатого колеса?
- 4 Что называется радиальным биением зубчатого колеса?
- 5 Что такое исходный контур зубчатого колеса?
- 6 Что называется рабочей и технологической осью зубчатого колеса?

Инструкция по мерам безопасности при проведении лабораторной работы № 4

- 1 До начала работы ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации биениемера.
- 2 Перед началом работы убедитесь в исправности прибора.
- 3 В случае обнаружения неисправности или повреждения поставьте в известность преподавателя.
- 4 После окончания работы приведите в порядок рабочее место.

5 Измерение размеров цилиндрических деталей абсолютным и относительным методами

Цель работы: ознакомиться с погрешностями обработки, приобрести навыки настройки и измерения штангенциркулем, микрометром, нутромером.

Оборудование рабочего места

На рабочем месте необходимо иметь детали типа валов и втулок, штангенциркули, микрометры, нутромер, струбцину, набор концевых мер, чертеж измеряемой детали, отчетный бланк.

5.1 Содержание работы

- 1 Ознакомиться с устройством штангенциркуля и микрометра, измерить с помощью микрометра диаметр вала по указанной в отчетном бланке схеме измерения (в двух продольных и трех поперечных сечениях).
- 2 Ознакомиться с устройством нутромера, настроить его на номинальный размер отверстия втулки, измерить с его помощью диаметры отверстия втулки (в двух продольных и трех поперечных сечениях). Рассчитать действительные значения диаметров отверстий суммированием номинального размера и полученных в результате измерений отклонений.
- 3 По полученным в результате измерений значениям выявить отклонения

формы в продольных и поперечных сечениях (их вид и численное значение) для отверстия и вала.

4 Сделать заключение о годности деталей по результатам измерений. Построить схему расположения поля допуска заданных размеров.

5.2 Теоретические положения

Измерение – процесс нахождения значений физической величины опытным путем с помощью специально для этого предназначенного средства измерения.

Погрешность измерения – разность между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины.

Точность средств измерений – качество средств измерений, характеризующие близость к нулю их погрешностей.

По характеру оценки значений измеряемой величины метод измерений может быть абсолютным или относительным, прямым или косвенным, комплексным или дифференцированным.

При **абсолютном методе** измерений производится оценка значений всей измеряемой величины или размера непосредственно по показаниям измерительного прибора (например, измерение штангенциркулем, микрометром и т. п.).

При **относительном** (сравнительном) **методе** измерений производится оценка значений отклонений измеряемой величины от известного размера установочной меры или образца (например, измерение нутромером, оптиметром, устанавливаемым на нуль по концевым мерам и показывающим при измерении величины отклонений размеров детали от размера блока концевых мер).

Номинальный размер – размер, определяемый исходя из функционального назначения детали и служащий началом отсчета отклонений. Номинальный размер выбирается из ГОСТ 6636–69 *Номинальные линейные размеры* и проставляется на чертежах.

Действительный размер – размер, полученный в результате обработки и измерения с допустимой погрешностью.

Устанавливаются **два предельных размера**, между которыми должен находиться или быть равен действительный размер годной детали.

Меньший из этих размеров называется наименьшим предельным размером, а больший – наибольшим предельным размером.

Для наружных поверхностей (валов) верхнее отклонение обозначается es , нижнее – ei , для внутренних поверхностей (отверстий) – ES и EI соответственно.

Допуск – разность между верхним и нижним предельными отклонениями или разность между предельными размерами. Допуск – величина всегда положительная.

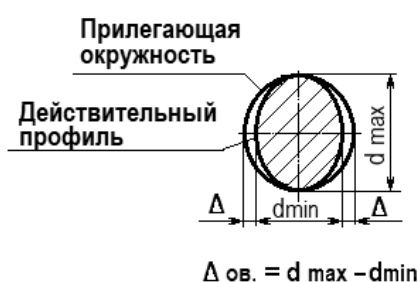
Отклонения формы цилиндрических деталей при обработке могут возникать как в продольном, так и в поперечном сечениях.

К отклонениям формы цилиндрических деталей в поперечном сечении относится отклонение от круглости. Частным случаем этой погрешности является овальность и огранка (рисунок 5.1).

Отклонение от круглости



Овальность



Огранка



Рисунок 5.1 – Погрешности формы цилиндрических деталей в поперечном сечении

Отклонение от круглости – наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающей окружности (см. рисунок 5.1).

К отклонениям формы цилиндрических деталей в продольном сечении относится **отклонение профиля продольного сечения** – это наибольшее расстояние от прилегающих прямых до действительного профиля (рисунок 5.2). Частными случаями этой погрешности являются **седлообразность, бочкообразность, конусообразность и изогнутость оси** (рисунок 5.3).

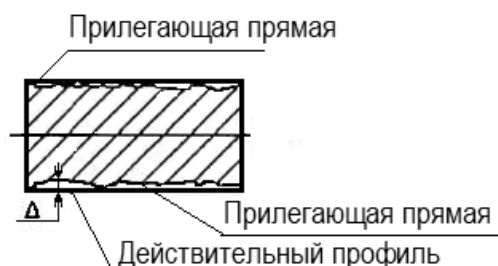


Рисунок 5.2 – Отклонение профиля продольного сечения

Седлообразность Бочкообразность Конусообразность Изогнутость оси

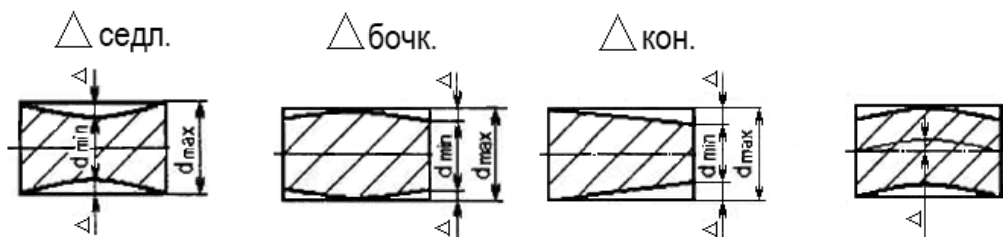


Рисунок 5.3 – Частные случаи отклонений профиля продольного сечения

Количественно все перечисленные погрешности рассчитываются по формуле

$$\Delta_{\phi} = (d_{\text{max изм.}} - d_{\text{min изм.}}) / 2, \quad (5.1)$$

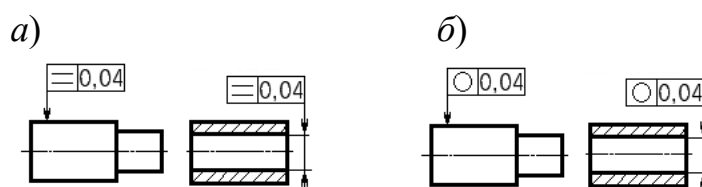
где Δ_{ϕ} – определяемая погрешность;

d_{max} , d_{min} – размеры, указанные на рисунке для определения соответствующей погрешности (наибольшее и наименьшее значение из трех измеренных диаметров вала).

Допуски формы могут ограничиваться допуском размера и могут назначаться независимо от допуска размера.

Если допуски формы техническими требованиями чертежа не оговорены, они ограничиваются полем допуска размера и при нормальной относительной геометрической точности погрешности формы не должны превышать 60 % от допуска размера.

На чертеже отклонение формы обозначается в рамке со стрелкой к рассматриваемой поверхности. В первой клетке записывается условное обозначение отклонения формы, во второй – величина допуска в миллиметрах (рисунок 5.4). Овальность и огранка специальных обозначений на чертеже не имеют.



a – отклонение профиля продольного сечения; *b* – отклонение от круглости

Рисунок 5.4 – Обозначение на чертежах отклонений формы

5.3 Последовательность выполнения работы

5.3.1 Измерение диаметра вала.

1 Проверить точность настройки микрометров.

2 Измерить диаметр вала (одну ступень) в двух продольных и трех поперечных сечениях. Полученные показания записать в бланк отчета в миллиметрах, измерения проводить согласно схеме, представленной в бланке отчета, линейные размеры вала измерить штангенциркулем. Пример отсчета показаний при измерении штангенциркулем и микрометром приведен на рисунках 5.5 и 5.6.

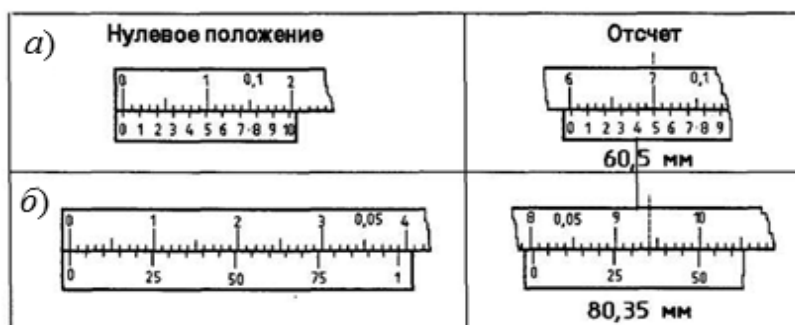


Рисунок 5.5 – Пример отсчета показаний штангенциркуля

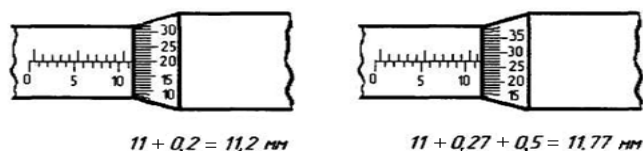


Рисунок 5.6 – Пример отсчета показаний микрометра

3 Обработка результатов измерения проводится в бланке отчета:

- по заданной преподавателем точности размера (для двух ступеней вала) (например, $\text{Ø}35f7$) выписать предельные отклонения из таблицы стандарта es и ei , рассчитать два предельных размера d_{\max} , d_{\min} и допуск Td ;
- по результатам измерения выявить отклонения формы в I-I и II-I продольных сечениях. Рассчитать величины выявленных отклонений $\Delta\phi_i$ по формуле (5.1);
- по данным измерения выявить отклонения формы в 1, 2 и 3-м поперечных сечениях. Рассчитать величины этих отклонений по формуле (5.1);
- рассчитать допуск формы

$$T_\phi = 0,6 \cdot Td. \quad (5.2)$$

5 Дать заключение о годности.

Сравнить все пять полученных отклонений формы в продольном и поперечном сечениях с допуском формы T_ϕ . Деталь годна, если все отклонения не превышают допуск формы $\Delta\phi_{1,2,3\dots i} < T_\phi$.

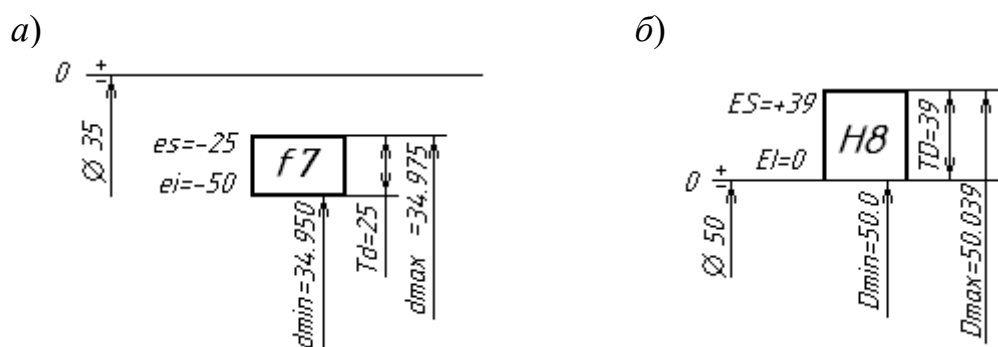
6 Вычертить схему поля допуска заданного размера. На схеме указать отклонения, допуск, предельные размеры, номинальный размер.

Пример 1 – Для заданных размеров вала $\text{Ø}35f7$ и отверстия $\text{Ø}50H8$ построить схемы расположения полей допусков.

Решение

По номинальным размерам, полю допуска и качеству точности выписываем из ГОСТ 25347–82 верхнее и нижнее отклонения и записываем в миллиметрах (в таблице стандарта значения приведены в микрометрах): $\text{Ø}35f7_{(-0,025, -0,050)}$, $\text{Ø}50H8_{(+0,039)}$.

Строим схемы полей допусков вала (рисунок 5.7, а) и отверстия (рисунок 5.7, б). На схеме указываем предельные размеры и допуск.



а – для размера вала $\text{Ø}35f7_{(-0,025, -0,050)}$; б – для размера отверстия $\text{Ø}50H8_{(+0,039)}$

Рисунок 5.7 – Схема расположения поля допуска

5.3.2 Измерение диаметра отверстия втулки.

1 Собрать индикаторный нутромер:

- в верхнюю часть трубки нутромера вставить индикатор и опускать до тех пор, пока его стрелка сделает один-два оборота. Закрепить индикатор в этом положении гайкой;

- измерить штангенциркулем диаметр отверстия втулки. Полученный размер является номинальным для установки нутромера на нуль;

- в комплекте сменных вставок, прилагаемых к нутромеру выбрать вставку, соответствующую номинальному размеру отверстия втулки. Ввинтить ее в отверстие измерительной головки нутромера.

2 Настроить нутромер на нуль по блоку из концевых мер с боковиками:

- набрать блок концевых мер, величина которого соответствует номинальному размеру отверстия. Установить блок концевых мер в струбцину между боковиков и зажать винтом;

- осторожно отжимая рукой центрирующий мостик, подготовленный к измерению, индикаторный нутромер вводят в пространство между боковиками;

- небольшим покачиванием найти крайнее положение большой стрелки индикатора при движении ее по часовой стрелке. К этому положению стрелки, которое будет соответствовать наименьшему расстоянию между поверхностями установочной меры, поворотом шкалы подвести нулевое деление;

- повторным покачиванием нутромера проверить правильность нулевой установки. В случае нарушения регулируют правильность нулевой установки. В случае нарушения его более чем на половину деления шкалы измерения считают недействительными;

- индикаторный нутромер осторожно вывести из установочного устройства.

3 Измерить отверстие втулки в двух продольных и трех поперечных сечениях:

- для определения знака отклонения стрелки индикатора нажать на измерительный стержень. При этом направление движения стрелки будет указывать на отрицательные показания, в обратную сторону – положительные;

- отжимая центрирующий мостик, ввести нутромер в проверяемое отверстие втулки;

- небольшим покачиванием нутромера в плоскости, проходящей через ось отверстия, зафиксировать наименьшее показание, соответствующее крайнему положению стрелки индикатора;

- измерения проводить согласно схеме в бланке отчета. Первые три отсчета 1, 2, 3 (в продольном сечении I) записать в отчетный бланк. Например, стрелка индикатора показала отрицательное отклонение в два деления, т. е. отсчет составляет $-0,02$ мм;

- осторожно поднять нутромер до уровня поперечного сечения I, повернуть его примерно на 90° ;

- провести аналогично три измерения в продольном сечении II и записать последовательно во вторую строку таблицы «Показания прибора ...».

4 Обработка результатов измерения проводится в бланке отчета:

- рассчитать действительные размеры диаметра отверстия путем сум-

мирования номинального значения, на которое был настроен нутромер, с полученными при измерении отклонениями с учетом знака. Например, отсчет составил $-0,01$ мм, номинальный диаметр отверстия 15 мм, тогда действительный диаметр отверстия составит $15 + (-0,01) = 14,99$ мм;

– по заданной преподавателем точности отверстия (например, $\varnothing 50H8$) выписать предельные отклонения из таблицы стандарта ES и EI , рассчитать два предельных размера D_{\max} , D_{\min} и допуск на заданное отверстие TD ;

– по рассчитанным значениям действительных размеров отверстия выявить отклонения формы в продольных сечениях I-I и II-II. Рассчитать величины этих отклонений по формуле (5.1);

– выявить отклонения формы в 1, 2 и 3-м поперечных сечениях. Рассчитать величины этих отклонений по формуле (5.1), полученные значения отклонений записать в бланк отчета;

– рассчитать допуск формы по формуле (5.2).

5 Заключение о годности провести аналогично, как и для вала (см. п. 5.3.1).

6 Вычертить схему поля допуска заданного отверстия пример на рисунке 5.5, б).

Контрольные вопросы

1 Что такое номинальный размер?

2 Что такое действительный и предельные размеры?

3 Что называется верхним и нижним предельными отклонениями?

4 Какие погрешности формы цилиндрических деталей в поперечном и продольном сечении бывают?

5 Как делается заключение о годности детали?

6 Как обозначается на чертежах отклонение профиля продольного сечения и отклонение от круглости?

7 Что такое абсолютный метод измерения размеров детали?

8 Что такое относительный метод измерения размеров детали?

Инструкция по мерам безопасности при проведении лабораторной работы № 5

1 До начала работы ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации штангенциркуля, микрометра, нутромера.

2 Перед началом работы убедитесь в исправности приборов. В случае обнаружения неисправности или повреждения поставьте в известность преподавателя.

3 Инструменты (штангенциркуль, микрометр, концевые меры, нутромер, струбцина) и детали (валы ступенчатые, втулки) на рабочем столе размещать так, чтобы исключить их падение.

4 После окончания работы инструменты сложите в коробки, проверьте правильность комплектации концевых мер в наборе. Инструменты и детали сдайте преподавателю или лаборанту. Приведите в порядок рабочее место.

6 Определение годности резьбы дифференцированным методом

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципами измерения малого микроскопа инструментального (ММИ); освоить приемы контроля элементов резьбы на инструментальном микроскопе, а также приемы контроля среднего диаметра резьбы методом трех проволок.

Оборудование рабочего места

1 Микрометры гладкие МК с пределами измерения от 0 до 25 мм и от 25 до 50 мм, цена деления 0,01 мм; предельная погрешность от $\pm 5,5$ до 7,5 мкм.

2 Комплекты трех проволок. Проволочки для измерения среднего диаметра резьбы: размеры проволок зависят от размера шага резьбы. Предельная погрешность метода при измерении гладким микрометром от -11 до ± 30 мкм. Класс точности проволок – первый.

3 Инструментальный микроскоп ММИ: пределы измерения шага резьбы от 1 до 7,5 мм, пределы измерения половины угла профиля от 0° до 360° , диаметр резьбы не более 35 мм, цена наименьшего деления шкал отсчетной системы для измерения длины 0,005 мм, угломерной головки – 1.

4 Валики с резьбой метрической М20, М24.

5 Бланк отчета.

6.1 Теоретические положения

6.1.1 Методы контроля резьбы.

Годность резьбы в зависимости от ее точности может определяться двумя методами: дифференцированным и комплексным.

При комплексном методе контроль осуществляется резьбовыми калибрами. Внутренняя резьба контролируется резьбовыми пробками, а наружная – резьбовыми кольцами. Для каждой резьбы делают два калибра – проходной ПР и непроходной НЕ. Резьба считается годной, если проходной калибр свинчивается с проверяемой резьбой на всей ее длине, а непроходной не свинчивается с проверяемой резьбой (допускается свинчивание до 1–1,5 витков вначале резьбы).

Дифференцированный метод контроля резьбы основан на измерении каждого элемента в отдельности. Заключение о годности детали в этом случае делается также по каждому элементу отдельно. Допуски для такой резьбы, как правило, назначают дифференцированно – на каждый элемент резьбы.

Дифференцированный метод контроля можно применить также и для контроля резьбы, имеющей суммарный допуск на средний диаметр. Для оценки годности такой резьбы введено понятие приведенного среднего диаметра, который рассчитывается по результатам измерения собственного среднего диаметра, шага на длине свинчивания и половины угла профиля.

Приведенный средний диаметр наружной резьбы определяется по формуле

$$d_{2\text{привед}} = d_{2\text{изм}} + f_p + f_a, \quad (6.1)$$

где $d_{2изм}$ – измеренное (действительное) значение среднего диаметра наружной резьбы;

f_α – диаметральная компенсация погрешности половины угла профиля, мкм;

f_p – диаметральная компенсация погрешности шага резьбы,

$$f_p = 1,732 \cdot \Delta P, \quad (6.2)$$

где ΔP – погрешность шага, мкм;

$$f_\alpha = 0,36 \cdot P \cdot \Delta\alpha/2, \quad (6.3)$$

где P – шаг резьбы, мм;

$\Delta\alpha/2$ – отклонение половины угла профиля, мин.

Резьба считается годной, если приведенный и собственный средний диаметр находятся в пределах допуска на средний диаметр, т. е. соблюдаются следующие условия:

$$d_{2изм} > d_2 + ei = d_{2min}; \quad (6.4)$$

$$d_{2привед} < d_2 + es = d_{2max}, \quad (6.5)$$

где d_{2min} , d_{2max} – наименьшее и наибольшее предельные значения среднего диаметра резьбы, определяемые допуском Td_2 по ГОСТ 16093–81.

Точность контролируемой резьбы задается преподавателем по ГОСТ 16093–81.

6.1.2 Обозначение метрической резьбы на чертежах.

В зависимости от характера сопряжения по боковым сторонам профиля (по среднему диаметру) резьбовые посадки бывают с зазором, натягом и переходные. Резьбы общего назначения выполняются по посадкам с зазором. ГОСТ 1609–76 устанавливает систему допусков для резьбовых посадок с зазором.

Стандартом предусмотрено пять основных отклонений для наружной резьбы (болта) – d , e , f , g , h и четыре для внутренней резьбы (гайки) – E , F , G , H .

Стандартом установлены *степени точности* резьбы 4, 6, 8 для наружного диаметра d и 3–9 для среднего диаметра d_2 болта, для гайки 4–8 степень для внутреннего D_1 и среднего D_2 диаметров.

Стандартом установлены три *длины свинчивания*: короткая S , нормальная N , длинная L .

Пример – Обозначение метрической резьбы на чертеже.

M12-6g – резьба метрическая наружная с крупным шагом (не указывается), наружный диаметр 12 мм, 6g – поле допуска для среднего и наружного диаметра (при условии их совпадения). Цифра 6 в обозначении поля допуска является степенью точности резьбы.

M12×1-7g6g – резьба метрическая наружная с мелким шагом 1 мм, наружным диаметром 12 мм, 7g – поле допуска для среднего диаметра резьбы, а 6g – соответственно для наружного. Цифры 7 и 6 в обозначении поля допуска

являются степенью точности резьбы.

M12×1-LH-5H6H – резьба метрическая внутренняя с мелким шагом 1 мм, наружным диаметром 12 мм, LH – левая, 5H – поле допуска для среднего диаметра резьбы, а 6H – соответственно для внутреннего.

M12-6H-30 – резьба метрическая с крупным шагом, наружным диаметром 12 мм, 6H – поле допуска для среднего и внутреннего диаметра резьбы, длина свинчивания – 30 мм. Длина свинчивания указывается, если она относится к группе L или относится к группе S, но меньше, чем вся длина резьбы.

Обозначение резьбовой посадки: **M12-6H/6g**. Посадка – это характер соединения двух деталей. В рассматриваемом случае гайка – болт.

Примеры обозначения метрической резьбы на чертежах приведены на рисунке 6.1.

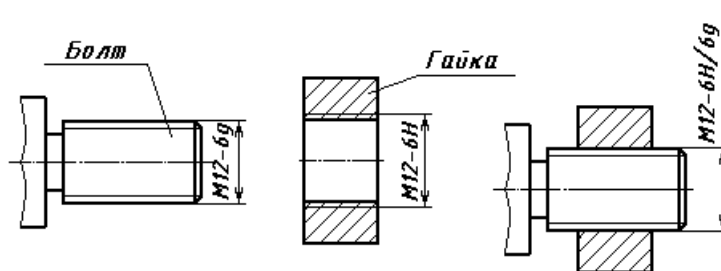


Рисунок 6.1 – Обозначение метрической резьбы на чертежах

6.2 Описание инструментального микроскопа ММИ

Инструментальные микроскопы выпускаются двух типов: ММИ – малый микроскоп инструментальный (рисунок 6.2) и БМИ – большой микроскоп инструментальный.

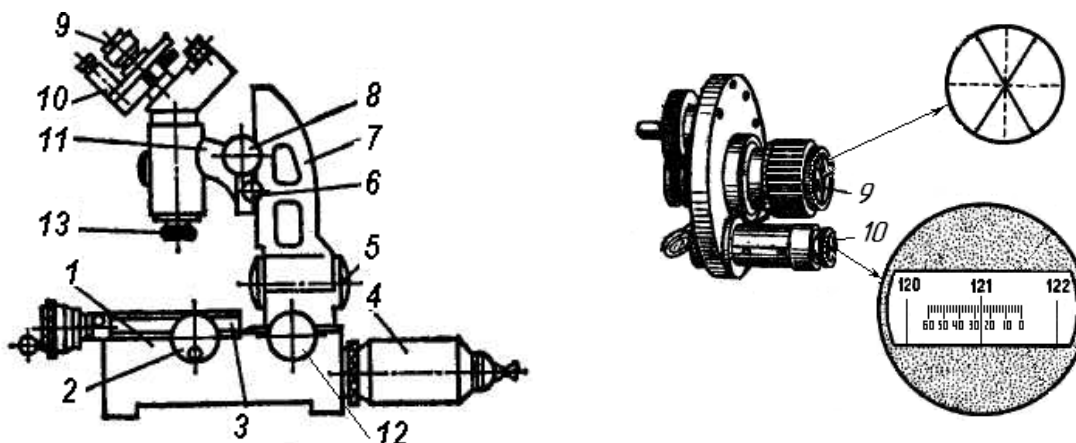


Рисунок 6.2 – Общий вид малого инструментального микроскопа и угломерной инструментальной головки

Малый инструментальный микроскоп имеет литое чугунное основание 1, на котором на шариковых направляющих установлен стол 3, перемещающийся в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи микрометриче-

ских винтов 2 с ценой деления 0,005 мм и пределами измерений 0...25 мм. Установив между концом микровинта и измерительным упором на столе микроскопа концевую меру соответствующего размера, кратного 25 мм, пределы измерения в продольном направлении увеличивают до 75 мм.

Малый инструментальный микроскоп имеет литое чугунное основание 1, на котором на шариковых направляющих установлен стол 3, перемещающийся в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи микрометрических винтов 2 с ценой деления 0,005 мм и пределами измерений 0...25 мм. Установив между концом микровинта и измерительным упором на столе микроскопа концевую меру соответствующего размера, кратного 25 мм, пределы измерения в продольном направлении увеличивают до 75 мм.

С целью точного совмещения линии измерения с направлением продольного и поперечного перемещения стола его верхнюю часть с предметным стеклом можно поворачивать и стопорить в нужном положении.

Предметное стекло, вставленное в центральную часть верхнего стола, дает возможность при освещении снизу наблюдать в микроскоп контур изделия.

На столе микроскопа помещается рамка с центрами для установки цилиндрических деталей.

Тубус 14 микроскопа с объективом 13 установлен в кронштейне, перемещающемся по вертикальным направляющим стойки 7. Последняя при помощи маховика 12 может наклоняться вокруг оси 5 на 10° в обе стороны для установки микроскопа под углом подъема измеряемой резьбы. Угол наклона определяют по шкале маховика 12.

Ось 5 наклона стойки 7 совпадает с осью центров, устанавливаемых на столе микроскопа при измерении тел вращения.

Для фокусировки микроскопа служит маховик 8, перемещающий кронштейн в вертикальном направлении.

Установленное положение фиксируется винтом 6. Сверху на трубе микроскопа крепится сменная угломерная окулярная головка ОГУ–21 с визирным 9 и отсчетным 10 микроскопами. При помощи специального маховика лимба головки осуществляется перемещение градусной шкалы при измерении углов.

6.3 Последовательность выполнения работы

6.3.1 Измерение шага резьбы на микроскопе.

Шагом резьбы P называется расстояние между параллельными сторонами двух лежащих рядом витков, измеренное вдоль оси (рисунок 6.3).

Приступая к измерению шага, необходимо наклонить стойку на угол подъема резьбы при помощи маховичка 12. Тангенс угла предварительно рассчитать по формуле

$$\operatorname{tg}_p = \frac{P}{\pi d_2}, \quad (6.6)$$

а значение угла найти из таблицы 6.1.

Таблица 6.1 – Значения тангенсов (по Брадису)

Угол	0	6	12	18	24	30	36	48	54
1°	0,0157	0,0192	0,0202	0,0327	0,0244	0,0262	0,0279	0,0332	0,0332
2°	0,0394	0,0367	0,0384	0,0402	0,0419	0,0437	0,0454	0,0507	0,0507
3°	0,0524	0,0842	0,0559	0,0577	0,0594	0,0612	0,0629	0,0664	0,0582

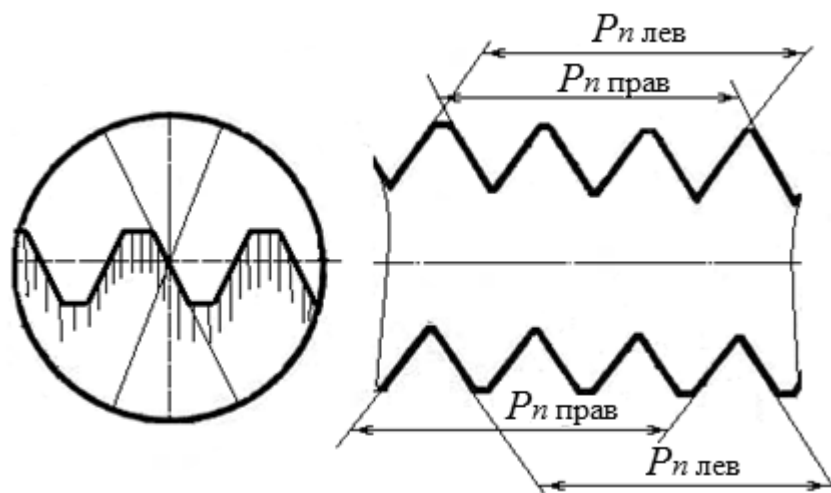


Рисунок 6.3 – Схема измерения погрешности шага резьбы на инструментальном микроскопе

С помощью продольного (справа снизу) и поперечного (впереди снизу) микровинта 2 глядя в верхний окуляр (см. рисунок 6.2), необходимо добиться видимости профиля резьбы (верхней ее части). Если, глядя в окуляр, видим только темное пятно, следует продолжать вращать поперечный микровинт до тех пор, пока появится профиль зуба резьбы. В окуляр можно увидеть пересечение осей окружности.

Вращая одновременно маховичок лимба угломерной головки (рядом с окуляром слева), продольный и поперечный микровинт 2, совместить правую сторону профиля резьбы (зуба) с одной из сплошных линий сетки угломерной головки (пересечение осей). Измерения производить, используя схему, показанную на рисунке 6.3, и последующее описание.

Снять отсчет и записать в бланк отчета. Отсчеты производятся по продольному микровинту 12. Все последующие измерения для определения шага заносить в эту же таблицу в первый столбик по порядку. Общее количество измерений должно быть равно восьми: первые четыре цифры – для верхней стороны профиля резьбы, последующие четыре – для нижней.

Продольным винтом совместить ту же сплошную линию сетки с профилем резьбы через n шагов (см. рисунок 6.3) и опять произвести отсчет по продольному микровинту. Рекомендуется принять $n = 3$, т. е. вращать маховичок лимба, глядя в верхний окуляр до тех пор, пока резьба не переместится в продольном направлении на три полных зуба. Записать отсчет в первый столбик таблицы отчета под предыдущим отсчетом.

Повернуть маховичок лимба угломерной головки (рядом с окуляром слева) до совмещения той же пунктирной линии сетки угломерной головки с левой стороной профиля резьбы (зуба). Для точного совмещения необходимо одновременно перемещать продольный и поперечный микровинт 2. Опять снять отсчет и записать в бланк отчета.

Повторить предыдущие действия, вращая продольный винт в обратном направлении, перемещая резьбу на такое же количество шагов n (зубьев). Снять отсчет и записать в бланк отчета. В результате проведенных измерений по верхнему профилю резьбы в отчете должно быть записано четыре цифры в первом столбике таблицы.

С помощью поперечного (впереди снизу) микровинта переместить резьбу до положения, когда станет виден нижний профиль резьбы.

Повторить измерения по нижнему профилю резьбы, записывая отсчеты последовательно (еще четыре цифры).

Измерение шага по правым и левым сторонам профиля резьбы необходимо для исключения ошибки, которая может возникнуть за счет несовпадения оси винта с линией центров.

6.3.2 Последовательность обработки результатов измерений шага.

Все расчеты выполняются в отчетном бланке.

Определить действительную величину суммы шагов по верхнему и нижнему профилю P_{in} . В бланке отчета в колонке «длина отрезка» записать разность двух соседних отсчетов (по модулю), т. е. I и II; III и IV; V и VI; VII и VIII.

Рассчитать среднее арифметическое из четырех полученных результатов измерений, которое принимается за действительный размер на данном участке,

$$P_n = \frac{P_{1n} + P_{2n} + P_{3n} + P_{4n}}{4}. \quad (6.7)$$

Действительное значение шага резьбы определить по формуле

$$P_\partial = \frac{P_n}{n}, \quad (6.8)$$

где n – количество шагов, входящих в измеряемый участок, $n = 3$.

Погрешность шага

$$\Delta P = P_\partial - P, \quad (6.9)$$

где P – номинальное значение шага резьбы (стандартное значение шага выбрать из таблицы 6.2).

Диаметральную компенсацию погрешности шага рассчитать по формуле (6.2).

Таблица 6.2 – Основные размеры метрической резьбы с крупным шагом

Диаметр резьбы, мм			Шаг резьбы P , мм
Наружный d	Средний d_2	Внутренний d_1	
18	16,376	15,294	2,5
20	18,376	17,294	2,5
22	20,376	19,224	2,5
24	22,061	20,752	3,0

6.3.3 Измерение погрешности половины угла профиля на микроскопе.

Половина угла профиля $\alpha/2$ – это угол между боковой стороной профиля и перпендикуляром, опущенным из вершины остроугольного профиля симметричной резьбы на ось резьбы (рисунок 6.4).

Измерение половины, а не целого угла профиля необходимо для того, чтобы можно было судить о наклоне профиля к оси резьбы. При этом измерение производится для обеих половинок угла профиля $\Delta\alpha/2_{лев}$, $\Delta\alpha/2_{прав}$ (см. рисунок 6.4).

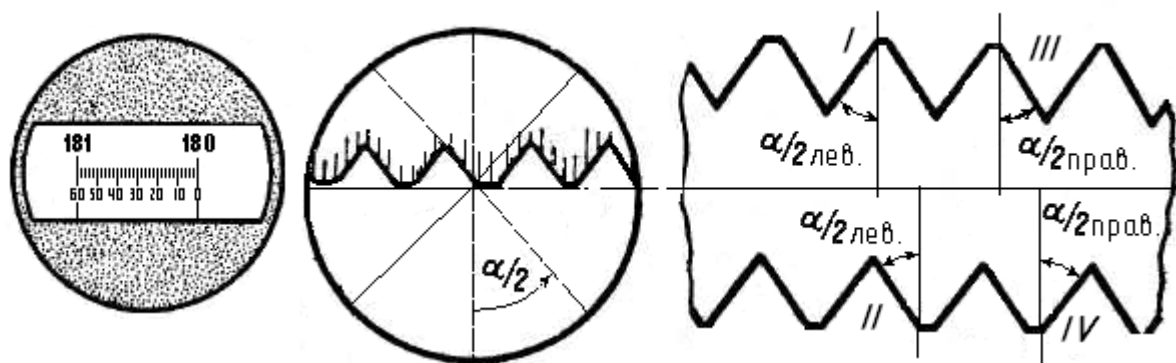


Рисунок 6.4 – Схема измерения половины угла профиля ММИ

Для исключения систематических ошибок измерения, являющихся результатом перекоса оси резьбы относительно линии измерения, половины углов профиля следует измерять в одном осевом, но с двух противоположных сторон, т. е. дополнительно измеряют действительные значения $\alpha/2$ (II) и $\alpha/2$ (IV) (см. рисунок 6.4).

Порядок выполнения измерений.

1 Вращая маховичок лимба угломерной головки (рядом с окуляром слева) и глядя в нижний окуляр, предельно градусную шкалу угломерной головки установить на 0° , 90° , 180° или 270° (наиболее удобный отсчет 180°) путем совмещения подвижной (при вращении маховичка) риски с нулем неподвижной угломерной шкалы. При этом одна из штриховых осей окружности верхнего окуляра расположена перпендикулярно оси резьбы.

2 Вращая продольный и поперечный микровинт 2, совместить левую вершину любого зуба резьбы (по верхнему профилю) с центром пересечения осей так, чтобы вертикально установленная пунктирная линия сетки угломерной головки проходила через рассматриваемую вершину зуба. Это положение соответствует первому отсчету (180°), которое записано в отчетном бланке в графе

«отсчеты».

3 Измерения произвести, используя схему, показанную на рисунке 6.4, и последующее описание. Совместить линию, расположенную перпендикулярно оси изделия, с левой стороной профиля резьбы. Глядя в нижний окуляр, снимают показание по градусной шкале. Снятие показаний производится следующим образом. В месте пересечения подвижной риски со шкалой делений от нуля отсчитываются градусы по большим рискам и добавляются минуты. Это значение является вторым отсчетом и записывается в отчетный бланк.

4 Вернуть штриховую линию в вертикальное положение, т. е. установить отсчет по градусной шкале на 180° (см. п. 1).

5 Переместить резьбу в продольном направлении настолько, чтобы вертикальная штриховая линия совпала с правой вершиной зуба.

6 Совместить линию, расположенную перпендикулярно оси изделия, с правой стороной профиля резьбы. Снять показания по градусной шкале и записать значение в отчет.

7 Переместить резьбу в поперечном направлении до появления нижнего профиля в верхнем окуляре.

8 Повторить п. 2.

9 Повторить п. 3.

10 Повторить пп. 4–6, результат записать в таблицу отчета.

6.3.4 Последовательность обработки результатов измерений половины угла профиля резьбы.

Все расчеты выполняются в отчетном бланке.

Действительная величина половины угла профиля $\alpha/2$ (I), $\alpha/2$ (II), $\alpha/2$ (III), $\alpha/2$ (IV) находится как разность между соседними отсчетами 1 и 2 (от большего значения вычитается меньшее).

Действительные значения половины угла профиля подсчитываются как среднее арифметическое по формулам для левой и правой стороны профиля соответственно:

$$\alpha/2_{лев} = \frac{\alpha/2(I) + \alpha/2(II)}{2}; \quad (6.10)$$

$$\alpha/2_{прав} = \frac{\alpha/2(III) + \alpha/2(IV)}{2}. \quad (6.11)$$

Отклонения левой и правой половины угла профиля определяются по следующим формулам:

$$\Delta\alpha/2_{лев} = \alpha/2_{лев} - 30^\circ; \quad (6.12)$$

$$\Delta\alpha/2_{прав} = \alpha/2_{прав} - 30^\circ. \quad (6.13)$$

Погрешность половины угла профиля резьбы определяется по формуле

$$\Delta\alpha/2 = \frac{|\Delta\alpha/2_{лев}| + |\Delta\alpha/2_{прав}|}{2}, \quad (6.14)$$

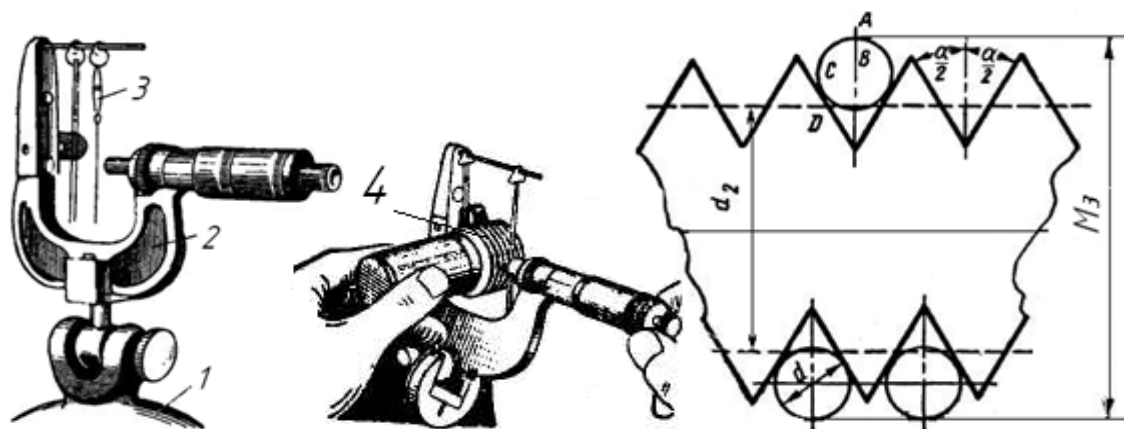
где $\alpha/2_{прав}$, $\alpha/2_{лев}$ – отклонения правой и левой половины угла профиля.

Диаметральная компенсация погрешности половины угла профиля рассчитывается по формуле (6.3).

6.3.5 Измерение среднего диаметра резьбы методом трех проволочек и при помощи ММИ.

Сущность процесса измерения среднего диаметра резьбы методом трех проволочек заключается в следующем.

Проволочки закладываются во впадины резьбы, затем при помощи контактного прибора (микрометра) измеряется размер M_3 (рисунок 6.5).



1 – подставка чугунная; 2 – микрометр; 3 – мерные проволочки; 4 – резьба

Рисунок 6.5 – Схема измерения среднего диаметра резьбы методом трех проволочек

Для резьбы с симметричным профилем диаметр проволочек рассчитывается по формуле

$$d_{пров} = \frac{P}{2 \cos \alpha/2}, \quad (6.15)$$

тогда

$$d_2 = M_3 - 3d_{пров} + 0,866P. \quad (6.16)$$

Для измерения среднего диаметра резьбы при помощи микроскопа необходимо поперечным микровинтом 2 (см. рисунок 6.2) совместить перекрестие визирной трубки 7 со сторонами нижнего и верхнего профилей и снять отсчеты. Действительное значение среднего диаметра определяется разностью отсчетов. За результат измерения принимают полусумму результатов измерений диаметра по правой и левой сторонам профиля.

6.4 Оценка годности резьбы

Оценку годности резьбы произвести по приведенному среднему диаметру резьбы, который определяется по формуле

$$d_{2\text{ пр.}} = d_{2\text{ изм.}} + f_p + f_a, \quad (6.17)$$

где $d_{2\text{ изм.}}$ – средний диаметр, измеренный с помощью трех проволок.

Резьба считается годной, если значение приведенного среднего диаметра будет находиться между или будет равно двум предельным размерам среднего диаметра $d_{\min} \leq d_{2\text{ пр.}} \leq d_{\max}$.

Предельные размеры среднего диаметра рассчитываются исходя из номинального значения среднего диаметра (стандартного см. таблицу 6.2) и предельных (верхнего и нижнего) отклонений, определяемых по таблице 6.3 в зависимости от заданных преподавателем поля допуска и шага.

Таблица 6.3 – Предельные отклонения диаметров резьбы болтов по ГОСТ 16093–81

Шаг резь- бы P , мм	Номинальный диаметр резьбы, мм	Поле допуска														
		7h6h			7g			7f			8h			8g		
		es		ei	es		ei	es		ei	es		ei	es		ei
		d , d_1 , d_2	d	d_2	d , d_1 , d_2	d	d_2	d , d_1 , d_2	d	d_2	d , d_1 , d_2	d	d_2	d , d_1 , d_2	d	d_2
2,0	Св. 11,2 до 22,4	0	-280	-200	-38	-208	-232	-71	-316	-271	0	-450	-250	-38	-499	-288
2,5	Св. 11,2 до 22,4	0	-335	-212	-42	-377	-254	-80	-415	-292	0	-530	-262	-42	-572	-307
3,0	Св. 22,4 до 45,0	0	-375	-350	-48	-423	-298	-85	-460	-335	0	-600	-314	-48	-648	-363
Примечание – es – верхнее отклонение; ei – нижнее отклонение																

Максимальный предельный размер рассчитывается как сумма номинального диаметра и верхнего отклонения es с учетом знака отклонения:

$$d_{\max} = d_2 + es.$$

Минимальный предельный размер рассчитывается как сумма номинального диаметра и нижнего отклонения ei с учетом знака отклонения:

$$d_{\min} = d_2 + ei.$$

Пример – Для резьбы $M22-7f$ рассчитать предельные размеры для среднего диаметра.

Решение

По таблице 6.2 выписываем номинальное значение среднего диаметра $d_2 = 20,376$ мм и шага $P = 2,5$ мм. По таблице 6.3 в зависимости от шага для по-

ля допуска $7f$ находим верхнее и нижнее отклонения:

$$es = -80 \text{ мкм} = -0,08 \text{ мм}; \quad ei = -292 \text{ мкм} = -0,292 \text{ мм}.$$

Рассчитываем предельные размеры для среднего диаметра:

$$d_{\max} = 20,376 + (-0,080) = 20,296 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = 20,376 + (-0,292) = 20,084 \text{ мм}.$$

Строим схему поля допуска на средний диаметр метрической резьбы (рисунок 6.6), на которой указываем номинальный и два предельных размера, верхнее и нижнее отклонение, допуск.

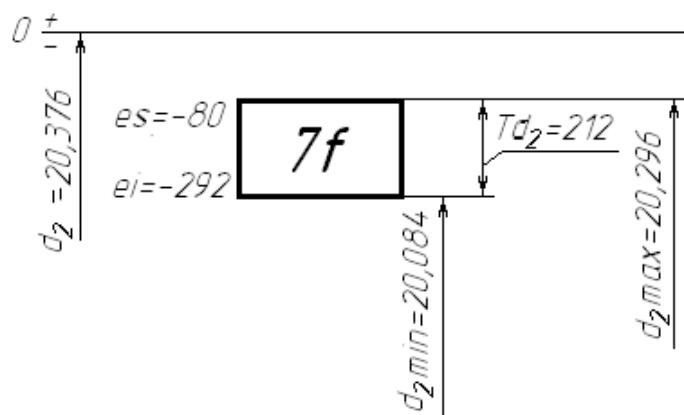


Рисунок 6.6 – Схема поля допуска на средний диаметр метрической резьбы

Контрольные вопросы

- 1 Что называется шагом резьбы?
- 2 Что называется углом профиля резьбы?
- 3 Какие методы контроля точности цилиндрических резьб Вам известны?
- 4 В чем сущность дифференцированного метода контроля параметров резьбы?
- 5 Как формулируется заключение о годности при контроле резьбы калибрами?
- 6 Что называется отклонением шага резьбы?
- 7 Что называется приведенным средним диаметром резьбы?
- 8 Что называется отклонением половины угла профиля резьбы?
- 9 Что называется диаметральной компенсацией погрешностей шага резьбы и погрешности половины угла профиля?
- 10 Дайте заключение о годности крепежной резьбы при дифференциальном методе контроля.
- 11 Как обозначается метрическая резьба на чертеже? Приведите пример.

Инструкция по мерам безопасности при проведении лабораторной работы № 6

- 1 До начала работы ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации микроскопа.
- 2 Перед включением микроскопа убедитесь в исправности изоляции шнура

питания, соединительной вилки и розетки путем осмотра.

3 В случае обнаружения неисправности или повреждения работать запрещается, об неисправности поставьте в известность преподавателя.

4 Не прикасайтесь к оголенным электрическим проводам и открытым токоведущим частям электрооборудования – можно попасть под напряжение электротока.

5 При необходимой, хотя бы временно, отлучке микроскоп следует отключить от сети.

6 Инструмент (микрометр, закрепленный в подставке, мерительные проволочки) и детали (валы резьбовые) на рабочем столе размещайте так, чтобы исключить их падение.

7 После окончания работы отключите электропитание прибора. Запрещается выключать микроскоп, выдергивая шнур из розетки. Для этой цели служит штепсельная вилка.

8 Приведите в порядок рабочее место. Инструменты и детали сдайте преподавателю или лаборанту.

Список литературы

1 **Мочалов, В. Д.** Метрология, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости: учебное пособие / В. Д. Мочалов, А. А. Погонин, А. А. Афанасьев. – 2-е изд., стереотип. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 264 с.

2 Метрология: учебник / О. Б. Бавыкин [и др.]; под общ. ред. С. А. Зайцева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2024. – 522 с.

3 **Клименков, С. С.** Нормирование точности и технические измерения в машиностроении: учебник / С. С. Клименков. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2018. – 248 с.: ил.

4 **ГОСТ 1643–81.** Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – Москва: Изд-во стандартов, 1981. – 69 с.

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Допускаемые погрешности измерений

Номинальный размер	Квалитет											
	5		6		7		8		9		10	
	<i>IT</i>	$\delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\delta_{изм}$
Св. 6 до 10	6	2,0	9	2,0	15	4,0	22	5,0	36	9	58	12
Св. 10 до 18	8	2,8	11	3,0	18	5,0	27	7,0	43	10	70	14
Св. 18 до 30	9	3,0	13	4,0	21	6,0	33	8,0	52	12	84	18
Св. 30 до 50	11	4,0	16	5,0	25	7,0	39	10,0	62	16	100	20
Св. 50 до 80	13	4,0	19	5,0	30	9,0	46	12,0	74	18	120	30
Св. 80 до 120	15	5,0	22	6,0	35	10,0	54	12,0	87	20	140	30
Св. 120 до 180	18	6,0	25	7,0	40	12,0	63	16,0	100	30	160	40

Примечание – *IT* – допуски размеров, мкм; $\delta_{изм}$ – допускаемые погрешности измерений, мкм

Таблица А.2 – Техническая характеристика штангенциркулей (ГОСТ 166–80)

Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Показание нониуса, мм	Допускаемая погрешность при отсчёте по нониусу, мм, не более	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Показание нониуса, мм	Допускаемая погрешность при отсчёте по нониусу, мм, не более
ШЦ-I	До 125	0,1	±0,1	ШЦ-III	До 160	0,1	±0,1
ШЦ-II	До 150	0,05	±0,1	ШЦ-III	До 400	0,1	±0,1
ШЦ-II	До 250	0,05	±0,1	ШЦ-III	250...630	0,1	±0,1

Таблица А.3 – Технические характеристики микрометров (ГОСТ 6507–78)

Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность для приборов класса точности 2, мм, не более	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность для приборов класса точности 2, мм, не более
МК-25	0...25	0,01	±0,004	МК-200	175...200	0,01	±0,005
МК-50	25...50	0,01	±0,004	МК-225	200...225	0,01	±0,006
МК-75	50...75	0,01	±0,004	МК-250	225...250	0,01	±0,006
МК-100	75...100	0,01	±0,004	МК-275	250...275	0,01	±0,006
МК-125	100...125	0,01	±0,005	МК-300	275...300	0,01	±0,006
МК-150	125...150	0,01	±0,005	МК-400	300...400	0,01	±0,008
МК-175	150...175	0,01	±0,005	МК-500	400...500	0,01	±0,010

Таблица А.4 – Технические характеристики микрометров рычажных (ГОСТ 6507–78)

Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более
МР-25	0...25	0,02	±0,003	МРИ-200	150...200	0,02	±0,006
МР-50	25...50	0,02	±0,003	МРИ-250	200...250	0,02	±0,006
МР-75	50...75	0,02	±0,003	МРИ-300	250...300	0,02	±0,006
МР-100	75...100	0,02	±0,003	МРИ-400	300...400	0,02	±0,006
МРИ-125	100...125	0,02	±0,005	МРИ-500	400...500	0,01	±0,008
МРИ-150	125...150	0,02	±0,005				

Таблица А.5 – Технические характеристики скоб с отсчетным механизмом (ГОСТ 11098–75)

Скоба	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более	Скоба	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более
Рычажная	СР-25	0...25	0,02	±0,002	Индикаторная	СИ-50	0...50	0,01	±0,008
	СР-50	25...50	0,02	±0,002		СИ-100	50...100	0,01	±0,008
	СР-75	50...75	0,02	±0,002		СИ-200	100...200	0,01	±0,010
	СР-100	75...100	0,02	±0,002		СИ-300	200...300	0,01	±0,010
	СР-125	100...125	0,02	±0,002		СИ-400	300...400	0,01	±0,012
	СР-150	125...150	0,02	±0,002		СИ-500	400...500	0,01	±0,012

Таблица А.6 – Техническая характеристика нутромеров

Нутромер	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более	Нутромер	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более
Индикаторный (ГОСТ 868–82)	НИ 10	6...10	±0,012	С измерительными головками (ГОСТ 9244–75)	153	1,5...2,0	±0,0018
	НИ 18	10...18	±0,012		116	2...3	±0,0018
	НИ50Л	18...50	±0,015		103	3...6	±0,0018
	НИ 100	50...100	±0,018		104	6...10	±0,0018
	НИ 160	100...160	±0,018		105	10...18	±0,0035
	НИ250	160...250	±0,018		109	18...50	±0,0035
	НИ450	250...450	+0,022		154	50...100	±0,004

Таблица А.7 – Технические характеристики нутромеров микрометрических (ГОСТ 10–75)

Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более	Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Допускаемая погрешность, мм, не более
НМ 50-75	50...75	±0,004	НМ 75-600	75...600	±0,015
НМ 75-175	75...175	±0,006	НМ 150-1250	150...1250	±0,020