

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

---

### **Часть 2**

**Методические указания**  
к выполнению лабораторных работ по дисциплинам  
«Основы взаимозаменяемости»,  
«Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения»,  
«Нормирование точности в машиностроении»,  
«Взаимозаменяемость и нормирование точности»  
для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения  
технических направлений

Севастополь  
СевГУ  
2021

УДК 531.7  
Л12

**Рецензент:**

**Л. А. Ничкова** – заведующий кафедрой техносферной безопасности  
Политехнического института СевГУ, доц., канд. техн. наук

*Составители:* Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар

**Л12      Лабораторный практикум:** методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Нормирование точности в машиностроении», «Взаимозаменяемость и нормирование точности» для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения технических направлений. Часть 2 / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2021. – 128 с. – Текст : электронный.

Методические указания предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплин «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Нормирование точности в машиностроении», «Взаимозаменяемость и нормирование точности».

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ по указанным выше дисциплинам.

УДК 531.7

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 7 от 29 января 2021 г.

Рекомендовано в качестве методических указаний для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения технических направлений.

*В авторской редакции*

Изд. № 11/2021. Объем 8 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. ИЗМЕРЕНИЕ БИЕНИЙ</b>                                                                            | 6  |
| 1.1. Основные понятия и определения                                                                   | 6  |
| 1.2. Методы и средства измерений биений поверхностей вращения                                         | 10 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6</b>                                                                        |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦОВОГО БИЕНИЯ В ЦЕНТРАХ</b>                                             | 11 |
| 1. Общие сведения                                                                                     | 11 |
| 2. Содержание работы                                                                                  | 13 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                                             | 13 |
| 4. Контрольные вопросы                                                                                | 14 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7</b>                                                                        |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦОВОГО БИЕНИЯ НА ПРИЗМЕ</b>                                             | 15 |
| 1. Общие сведения                                                                                     | 15 |
| 2. Содержание работы                                                                                  | 17 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                                             | 17 |
| 4. Контрольные вопросы                                                                                | 18 |
| <b>2. КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ</b>                                                                      | 19 |
| 2.1. Основные понятия и определения                                                                   | 19 |
| 2.2. Методы и средства контроля шероховатости поверхностей                                            | 22 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8</b>                                                                        |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ<br/>НА ДВОЙНОМ МИКРОСКОПЕ МИС-11</b>                | 31 |
| 1. Общие сведения                                                                                     | 31 |
| 2. Содержание работы                                                                                  | 35 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                                             | 36 |
| 4. Контрольные вопросы                                                                                | 37 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9</b>                                                                        |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ<br/>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА МИИ-4</b> | 38 |
| 1. Общие сведения                                                                                     | 38 |
| 2. Содержание работы                                                                                  | 42 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                                             | 42 |
| 4. Контрольные вопросы                                                                                | 43 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>3. КОНТРОЛЬ УГЛОВ И КОНУСОВ</b>                                              | 44 |
| 3.1. Нормирование точности углов                                                | 44 |
| 3.2. Нормирование точности конусов                                              | 46 |
| 3.3. Средства измерения и контроля углов и конусов                              | 51 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10</b>                                                 |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ УГЛОМЕРАМИ</b>                                               | 60 |
| 1. Общие сведения                                                               | 60 |
| 2. Содержание работы                                                            | 62 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                       | 62 |
| 4. Контрольные вопросы                                                          | 63 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11</b>                                                 |    |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНУСНОСТИ ВНУТРЕННИХ КОНУСОВ ДВУМЯ ШАРИКАМИ</b>                 | 64 |
| 1. Общие сведения                                                               | 64 |
| 2. Содержание работы                                                            | 66 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                       | 66 |
| 4. Контрольные вопросы                                                          | 68 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12</b>                                                 |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ СИНУСНОЙ ЛИНЕЙКОЙ</b>                                        | 69 |
| 1. Общие сведения                                                               | 69 |
| 2. Содержание работы                                                            | 70 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                       | 70 |
| 4. Контрольные вопросы                                                          | 72 |
| <b>4. КОНТРОЛЬ РЕЗЬБ</b>                                                        | 73 |
| 4.1. Основные понятия и определения                                             | 73 |
| 4.2. Выбор метода и средств измерения параметров резьбы                         | 75 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13</b>                                                 |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА РЕЗЬБЫ РЕЗЬБОВЫМ МИКРОМЕТРОМ</b>                 | 81 |
| 1. Общие сведения                                                               | 81 |
| 2. Содержание работы                                                            | 83 |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы                                       | 83 |
| 4. Контрольные вопросы                                                          | 84 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14</b>                                                 |    |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА РЕЗЬБЫ МЕТОДОМ ТРЕХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОВОЛОЧЕК</b> | 85 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 1. Общие сведения                                     | 85  |
| 2. Содержание работы                                  | 87  |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы             | 87  |
| 4. Контрольные вопросы                                | 89  |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15</b>                       |     |
| <b>ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЬБЫ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ</b> |     |
| <b>МИКРОСКОПЕ</b>                                     | 90  |
| 1. Общие сведения                                     | 90  |
| 2. Содержание работы                                  | 97  |
| 3. Порядок выполнения лабораторной работы             | 97  |
| 4. Контрольные вопросы                                | 99  |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>               | 100 |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>                                     | 103 |

# 1. ИЗМЕРЕНИЕ БИЕНИЙ

## 1.1. Основные понятия и определения

Биение является одной из геометрических характеристик изделий. Поля допусков различных видов биений нормирует ГОСТ Р 53442 – 2015.

Общие термины и определения для геометрических элементов устанавливает ГОСТ 31254 – 2004. Эти термины являются новыми по сравнению с применявшимися, они позволяют однозначно описывать и беспрепятственно математически определять различные виды геометрических элементов. К геометрическим элементам относятся точка, линия или поверхность. Полным геометрическим элементом является поверхность или линия на поверхности. К производным геометрическим элементам относятся средняя точка, средняя линия или средняя поверхность, которые произведены от одного или нескольких полных элементов. Взаимосвязь определений геометрических элементов показана на рис. 1.1.

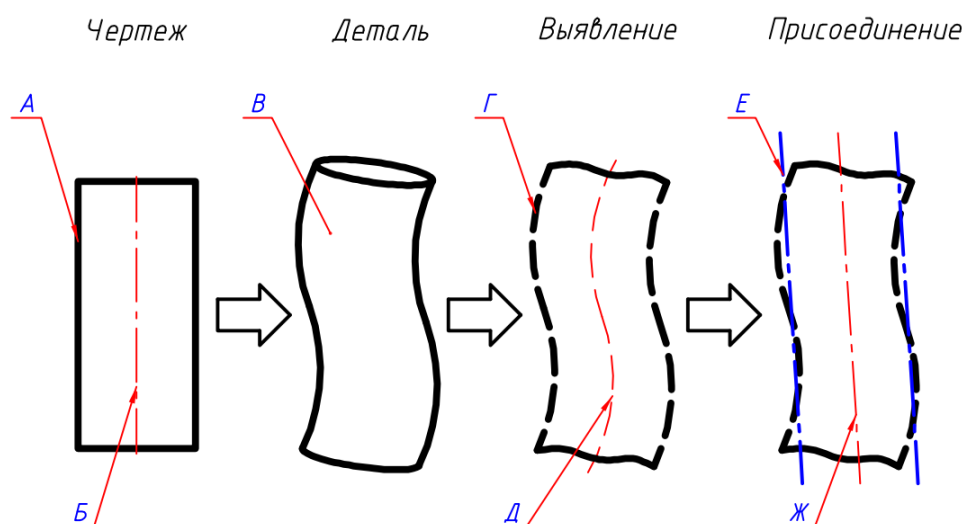


Рисунок 1.1 – Взаимосвязь определений геометрических элементов

На рис. 1.1 обозначены: А – номинальный полный элемент, Б – номинальный производный элемент, В – реальный элемент, Г – выявленный полный элемент, Д – выявленный производный элемент, Е – присоединенный полный элемент, Ж – присоединенный производный элемент.

**Радиальным биением ECR** называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 1.2, а).

*Поле допуска радиального биения* ограничено двумя концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна числовому значению допуска  $t$ . Окружности лежат в плоскости поперечного сечения,

**Торцевым биением** *ECA* называется разность наибольшего и наименьшего расстояния от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси (рис. 1.2, в).

7

коаксиальной базовой оси, ограниченную двумя окружностями на цилиндре, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска  $t$  (рис. 1.2,  $z$ ).

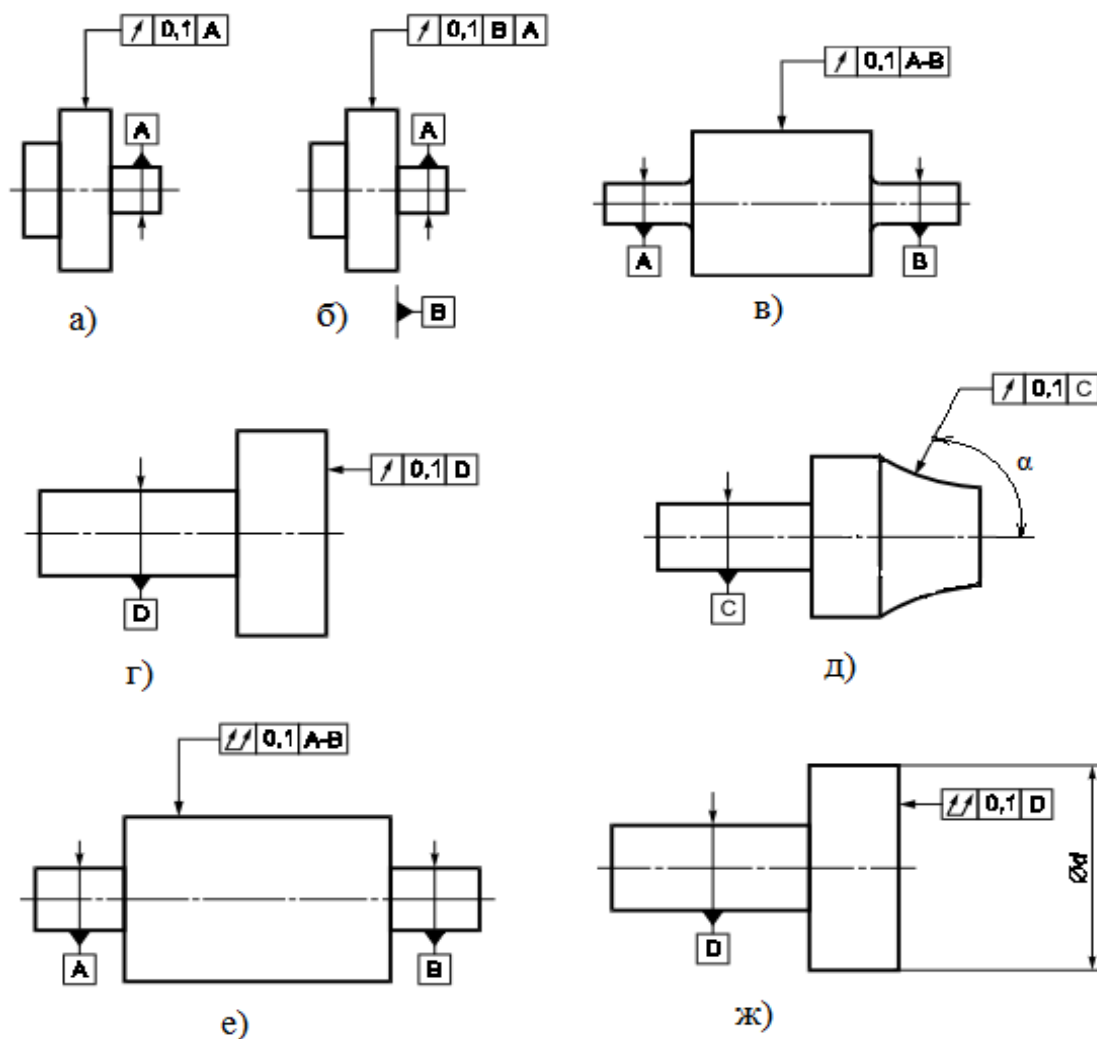


Рисунок 1.3 – Примеры обозначений на чертежах допусков биений

**Биением в заданном направлении  $ECD$**  называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля рассматриваемой поверхности вращения в сечении ее конусом, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление до вершины этого конуса (рис. 1.2,  $d$ ).

**Поле допуска биения в заданном направлении** представляет собой боковую поверхность любого конуса, который пересекает рассматриваемую поверхность и образующая которого имеет заданное направление, а ось совпадает с базовой осью, ограниченную двумя окружностями на конусе, находящимися друг от друга вдоль образующей конуса на расстоянии, равном числовому значению допуска  $t$  (рис. 1.2,  $e$ ).

**Полным радиальным биением ECTR** называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси (рис. 1.2, ж). *Поле допуска полного радиального биения* ограничено двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна числовому значению допуска  $t$  и оси которых совпадают с базой (рис. 1.2, з).

**Полным торцовым биением ECTA** называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси (рис. 1.2, и).

*Поле допуска полного торцового биения* ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном допуску  $t$ , и перпендикулярными к базовой оси (рис. 1.2, к).

Числовые значения допусков биений стандартизованы и выбираются из таблиц ГОСТ 24643 – 81. На чертежах допуски биений указывают условными обозначениями по ГОСТ 2.308 – 2011 с применением знака, соответствующего виду биения.

*Например:* выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, перпендикулярной к базовой оси  $A$ , должна быть расположена между двумя лежащими в этой плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм (рис. 1.3, а); выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, параллельной базовой плоскости  $B$ , должна быть расположена между двумя лежащими в этой плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм, и концентрическими с базовой осью  $A$  (рис. 1.3, б); выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, перпендикулярной к общей базовой прямой линии  $A-B$ , должна быть расположена между двумя лежащими в этой плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм (рис. 1.3, в); выявленная линия должна быть расположена в пределах боковой поверхности цилиндра любого диаметра, ось которого совпадает с базовой осью  $D$ , ограниченной по длине двумя окружностями, расстояние между которыми равно 0,1 мм (рис. 1.3, г); выявленная линия должна быть расположена в пределах боковой поверхности конуса, образующая которого имеет заданное направление (угол  $\alpha$ ) и ось которого совпадает с базовой осью  $C$ , ограниченной по длине двумя окружностями, находящимися друг от друга вдоль образующей конуса на расстоянии 0,1 мм (рис. 1.3, д); выявленная поверхность должна быть расположена между двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна 0,1 мм и оси которых совпадают с общей базовой прямой линией  $A-B$  (рис. 1.3, е); выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,1 мм, перпендикулярными к базовой оси  $D$  (рис. 1.3, ж).

## 1.2. Методы и средства измерений биений поверхностей вращения

Общие технические требования и типы приборов для измерений биений поверхностей вращения устанавливает ГОСТ 17353 – 89. Приборы должны обеспечивать: автоматическое управление процессом измерения, автоматический сбор и обработку измерительной информации, автоматическое исключение систематических погрешностей, визуальное отображение и регистрацию результатов измерения в цифровом или графическом виде.

В мелкосерийном и единичном производстве для измерения биений широкое применение получили измерительные головки. В качестве отдельного прибора эти головки не используют. Они предназначены для оснащения измерительных приборов и приспособлений, их устанавливают на стойки или штативы (ГОСТ 10197 – 70). Преимущество приборов со съемными измерительными головками заключается в возможности быстрой замены измерительной головки при выходе ее из строя или необходимости проведения периодической поверки.

Схемы измерения биений с помощью измерительных головок представлены на рис. 1.4 [1-4, 6].

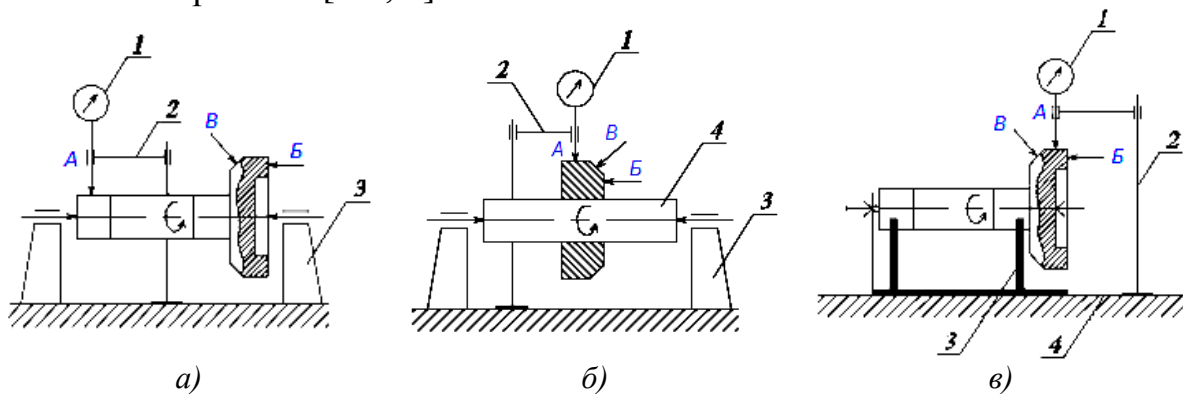


Рисунок 1.4 – Схемы измерения биений

Схема измерения биений наружных поверхностей тел вращения с центровыми отверстиями (радиального, торцового и в заданном направлении с установкой измерительной головки по схеме *A*, *B* и *B* соответственно) с помощью центров показана на рис. 1.4, *a*; схема измерения биений деталей типа тел вращения с посадочным отверстием в центрах на оправке – на рис. 1.4, *б*; схема измерения биений наружных поверхностей с помощью призмы – на рис. 1.4, *в*.

Для упрощения процесса выбора конкретных измерительных головок в табл. А.1 прил. А указаны диапазоны номинальных размеров, допуски биений, допускаемые погрешности измерения биений, номерами и буквами указаны измерительные средства и варианты их использования, при которых погрешность измерений не превышает допускаемые значения. Номенклатура измерительных головок для измерения радиального и торцового биения приведена в табл. А.2 прил. А.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦОВОГО БИЕНИЯ В ЦЕНТРАХ

**Цель работы:** Ознакомиться с назначением, конструкцией, метрологическими характеристиками индикатора многооборотного 1 МИГ, приобретение практических навыков измерения радиального и торцового биения в центрах.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ*

Многооборотные измерительные головки (МИГ) предназначены для высокоточных абсолютных и относительных измерений линейных размеров и могут применяться как в измерительных стойках, так и в различного рода контрольных и измерительных приборах и приспособлениях.

Индикатор данного типа является самым точным из группы многооборотных приборов благодаря использованию двухрычажного механизма, имеющего малую теоретическую ошибку и двухступенчатой передачи.

На рис. Лб.1 представлены кинематическая схема (а) и внешний вид (б) прибора.

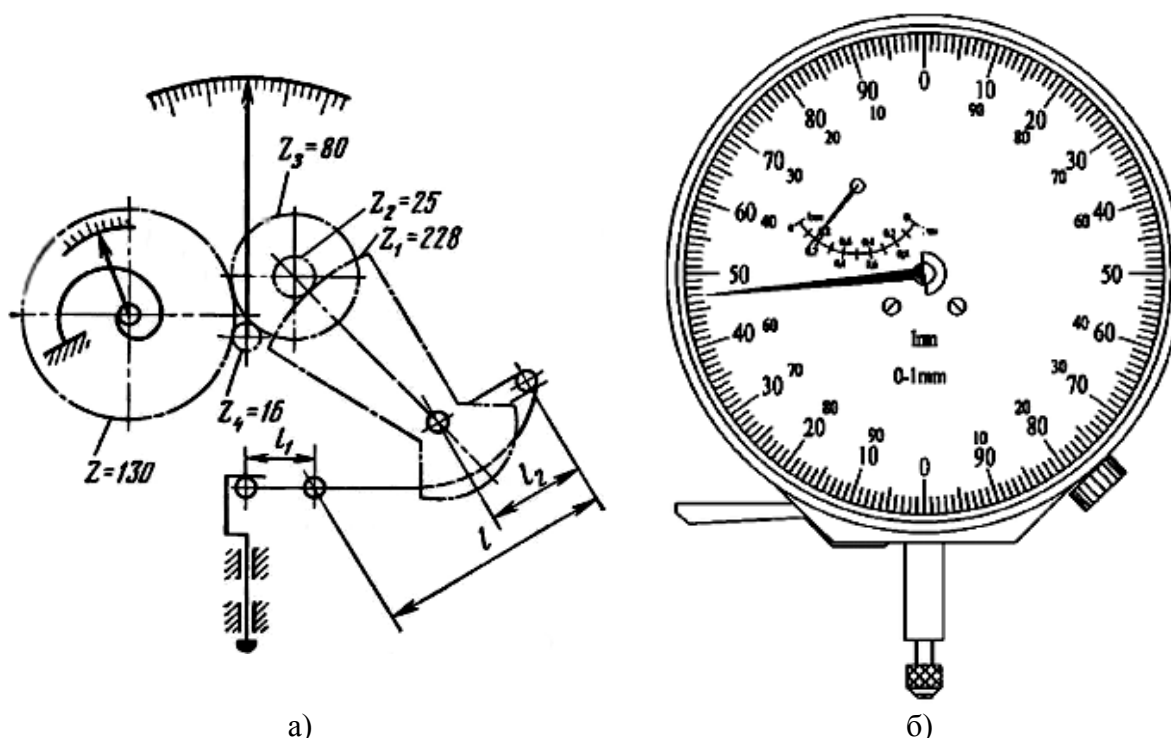


Рис. Лб.1 – Кинематическая схема и внешний вид многооборотного индикатора 1 МИГ

Измерительный стержень (рис. Лб.1, а) при своем перемещении вра-

щает рычаг с плечами  $l_1$  и  $l$  через опорный штифт, расположенный на расстоянии  $l_2$  от оси вращения. Рычаг поворачивает зубчатый сектор  $z_1$  вокруг оси. Зубчатый сектор сцепляется с зубчатым колесом  $z_2$ , на оси которого неподвижно сидит колесо  $z_3$ . Колесо  $z_3$  сцепляется с трибом  $z_4$ , на оси которого насажена стрелка. Колесо  $z$  пружинным волоском обеспечивает однопрофильное зацепление.

Оси механизма установлены в корундовых подшипниках. Измерительный стержень выполнен из нержавеющей стали, имеет глубокое арретирование – его перемещение на 1 мм превышает пределы измерения по шкале. Высокая износоустойчивость индикатора обеспечивается армированием контактных поверхностей механизма твердым сплавом и разгрузкой механизма от измерительного усилия.

Индикатор имеет арретир и винт установки на нуль с пределами регулирования не менее 20 делений шкалы.

Сферическая измерительная поверхность наконечника выполнена из корунда. По заказу могут поставляться наконечники с плоской измерительной поверхностью. Крепление индикатора производится с помощью втулки диаметром 8 мм. По заказу изготавливаются индикаторы с ушком на задней стороне корпуса.

Преимуществом такого прибора является простота конструкции, долговечность работы и отсутствие мертвого хода.

Согласно [ГОСТ 9696 – 82](#) измерительные головки 1 МИГ и 2 МИГ изготавливают 0 и 1 классов точности. Многооборотный индикатор ([ГОСТ 9696 – 82](#)) с ценой деления 0,001 и 0,002 мм имеет увеличенное количество оборотов, вследствие чего верхний предел измерения у него равен 1 и 2 мм.

Основные метрологические и технические характеристики многооборотных измерительных головок 1 МИГ и 2 МИГ представлены в табл. Л6.1.

Таблица Л6.1 – Основные метрологические и технические характеристики многооборотных измерительных головок 1 МИГ и 2 МИГ (ГОСТ 9696-82)

| Тип   | Класс точности | Диапазон измерений, мм | Цена деления, мм | Пределы допускаемой погрешности, дел.: |                   | Размах показаний при 10 измерениях, дел. | Вариация показаний, дел. |
|-------|----------------|------------------------|------------------|----------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|--------------------------|
|       |                |                        |                  | ±30 делений                            | на всем диапазоне |                                          |                          |
| 1 МИГ | 0              | 0-1                    | 0,001            | 1,5                                    | 2,0               | 1/2                                      | 1,0                      |
|       | 1              |                        |                  | 2,0                                    | 2,5               | 2/3                                      | 1,5                      |
| 2 МИГ | 0              | 0-2                    | 0,002            | 1,5                                    | 2,0               | 1/2                                      | 1,0                      |
|       | 1              |                        |                  | 2,0                                    | 2,5               | 2/3                                      | 1,5                      |

### ***1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора***

Перед началом использования необходимо произвести установку индикатора на нуль.

Для проверки постоянства показаний поднять измерительный стержень два-три раза на высоту 1-2 мм и отпустить его. Если стрелка отклонится от нулевого положения, то необходимо снова совместить с ней нулевой штрих шкалы.

Индикатор имеет две шкалы со стрелками, одна из которых, большая, отсчитывает перемещение измерительного стержня в микрометрах, а малая - количество полных оборотов большой стрелки. Один оборот малой стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 0,1 мм.

При измерениях линейных размеров увеличение измеряемого расстояния приводит к перемещению стрелки индикатора по часовой стрелке.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1. Изучить схемы измерения радиального и торцового биений.
2. Выбрать средство измерения.
3. Изучить назначение, конструкцию и метрологические характеристики измерительного прибора.
4. Изучить принцип действия и порядок снятия показаний.
5. Измерить радиальное и торцовое биение в центрах.
6. Нарисовать иллюстрации полей допусков радиального и торцового биений.
7. Сделать заключение о годности детали.

## **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Выбрать измерительную головку.
2. Изучить конструкцию и принцип действия многооборотного индикатора.
3. Технические характеристики измерительной головки занести в табл. Л6.2.

Таблица Л6.2 – Технические характеристики измерительной головки

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Цена деления, мм      |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Погрешность, мм       |  |

4. Контролируемую деталь установить в центры. Измерительную головку 1 на штативе 2 установить по схеме *А* для радиального биения (см. рис. 1.4, *а*) или по схеме *Б* для торцового биения, обеспечив перпендикулярность линии измерения и контролируемой поверхности и добиться натяга измерительного наконечника индикатора примерно 0,5 мм.

5. Произвести измерения радиального биения в трех случайных сечениях по длине шейки вала. В каждом сечении выполнить измерения, вращая деталь. Показания измерительной головки занести в табл. Л6.3. За результат измерений принимается алгебраическая разность максимального и минимального показаний головки.

Таблица Л6.3 – Результаты измерения

| № п/п             |   | Показания прибора, мкм |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Величина биения |
|-------------------|---|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|
| Радиальное биение | 1 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
|                   | 2 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
|                   | 3 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
| Торцовое биение   | 1 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |

6. Произвести измерения торцового биения. Измерения выполнять, вращая деталь. Показания измерительной головки занести в табл. Л6.3.

7. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое биение и как оно влияет на эксплуатационные свойства деталей, узлов и изделий машиностроения?

2. Какие виды биений Вы знаете?

3. Что представляет собой поле допуска радиального биения?

4. Что представляет собой поле допуска торцового биения?

5. Как обозначаются допуски биений на чертежах?

6. Как измеряется биение в центрах?

7. Какие требования предъявляются к приборам для измерения биений?

8. Назначение, конструкция, метрологические характеристики индикатора многооборотного 1 МИГ.

9. Как выбрать измерительную головку для измерения биений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦОВОГО БИЕНИЯ НА ПРИЗМЕ

**Цель работы:** Ознакомиться с назначением, конструкцией, метрологическими характеристиками рычажно-зубчатой измерительной головки, приобретение практических навыков измерения радиального и торцового биения на призме.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ*

Рычажно-зубчатая головка (ГОСТ 18833–73) предназначена для точных относительных измерений линейных размеров и может применяться как в измерительной стойке, так и в различного рода контрольных и измерительных приборах и приспособлениях.

Кинематическая схема и внешний вид измерительной головки представлены на рис. Л7.1, а, б соответственно.

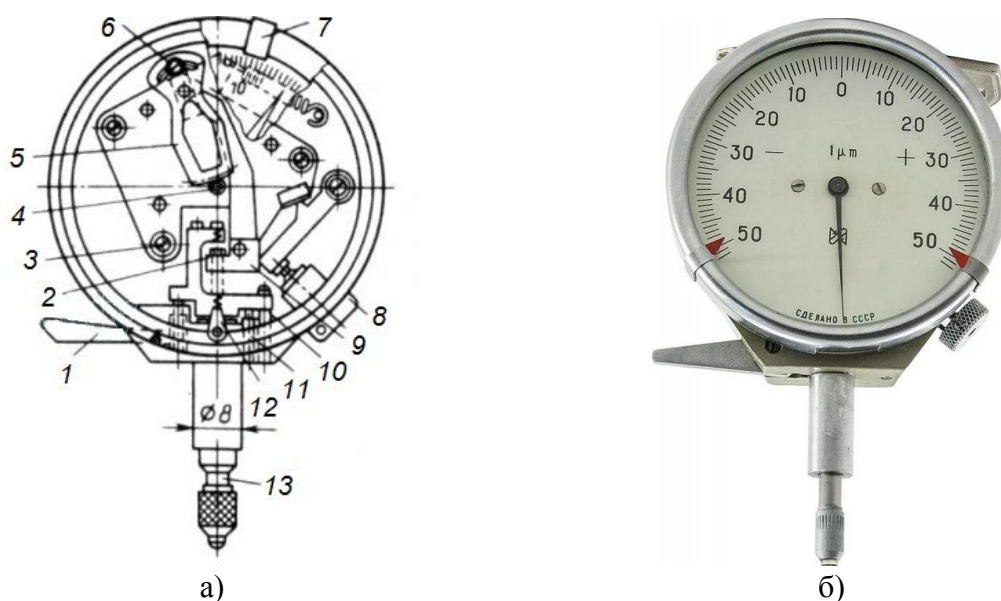


Рис. Л7.1 – Кинематическая схема и внешний вид рычажно-зубчатой головки 1ИГ

Измерительный стержень **13** своей плоской поверхностью взаимодействует с шариком, эксцентрически запрессованным во втулку **2**. Большое плечо рычага **9** находится в контакте со вторым рычагом зубчатого сектора **5**. Этот рычаг может поворачиваться на оси сектора в пределах дугообразного паза и фиксироваться винтом **6**. Зубчатый сектор **5** находится в зацеплении с центральным зубчатым колесом **4**, на ось которого насажена стрелка и волосок (на рисунке стрелка и волосок не показаны). Волосок

исключает влияние бокового зазора зубчатых передач на точность измерения.

Измерительное усилие создается двумя расположенными по обе стороны малого плеча рычага 9 пружинами 12, связанными одним концом с измерительным стержнем, а другим – с корпусом.

Измерительный стержень выполнен из нержавеющей стали, его перемещение, осуществляемое арретиром 1, на 2 мм превышает пределы измерения подъем измерительного стержня. Штифт 10 предотвращает поворот измерительного стержня вокруг своей оси, а винт 11 является упором, ограничивающим перемещение стержня вниз под действием пружины 12. Точная установка головки на нуль обеспечивается винтом 8 с пределами регулирования не менее 10 делений шкалы, при этом погрешность показаний головки не меняется, так как точная установка осуществляется за счет поворота всего механизма головки вокруг оси 3.

Для удобства работы с прибором на его ободке расположены два передвижных флажка 7, которые вручную устанавливают в положения, соответствующие допустимым предельным отклонениям. При работе с флажками процесс измерения более производительен. Годными считаются те детали, при измерении которых стрелка не выходит за эти границы.

Головка имеет высокую износостойчивость благодаря армированию контактных поверхностей механизма твердым сплавом и разгрузки механизма от измерительного усилия.

Крепление головки производится с помощью втулки диаметром 8 мм или за ушко с задней стороны корпуса (головки с ушком изготавливаются по заказу).

Рычажно-зубчатая измерительная головка является однооборотной. Ее главным недостатком является узкий диапазон показаний.

Основные метрологические и технические характеристики рычажно-зубчатых измерительных головок представлены в табл. Л7.1.

Таблица Л7.1 – Основные метрологические и технические характеристики рычажно-зубчатых измерительных головок типа ИГ и ИГМ (ГОСТ 18833-73)

| Тип           | Цена деления, мм | Пределы измерения, мм | Пределы допускаемой погрешности, дел.: |                   | Размах показаний, дел. | Вариация показаний, дел. |
|---------------|------------------|-----------------------|----------------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
|               |                  |                       | $\pm 30$ делений                       | на всем диапазоне |                        |                          |
| 1 ИГ<br>1 ИГМ | 0,001            | $\pm 0,05$            | $\pm 0,4$                              | $\pm 0,7$         | 0,2                    | 0,5                      |
| 2 ИГ<br>2 ИГМ | 0,002            | $\pm 0,10$            | $\pm 0,8$                              | $\pm 1,2$         | 0,3                    | 0,8                      |

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить схемы измерения радиального и торцового биений.
2. Выбрать средство измерения.
3. Изучить назначение, конструкцию и метрологические характеристики измерительного прибора.
4. Изучить принцип действия и порядок снятия показаний.
5. Измерить радиальное и торцовое биение в центрах.
6. Нарисовать иллюстрации полей допусков радиального и торцового биений.
7. Сделать заключение о годности детали.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Выбрать измерительную головку.
2. Изучить конструкцию и принцип действия рычажно-зубчатой измерительной головки.
3. Технические характеристики измерительной головки занести в табл. Л7.2.

Таблица Л7.2 – Технические характеристики измерительной головки

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Цена деления, мм      |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Погрешность, мм       |  |

4. Контролируемую деталь на призме 3 установить на плите 4 и прижать к осевому упору. Измерительную головку 1 на штативе 2 установить по схеме *А* для измерения радиального биения или по схеме *Б* для измерения торцового биения (рис. 1.4, *а*), обеспечив перпендикулярность линии измерения и контролируемой поверхности.

5. Произвести измерения радиального биения в трех случайных сечениях по длине шейки вала. В каждом сечении выполнить измерения, вращая деталь. Показания измерительной головки занести в табл. Л7.3. За результат измерений принимается алгебраическая разность максимального и минимального показаний головки.

6. Произвести измерения торцового биения. Измерения выполнять, вращая деталь. Показания измерительной головки занести в табл. Л7.3.

7. Оформить отчет по работе (прил. Г).

Таблица Л7.3 – Результаты измерения

| № п/п             |   | Показания прибора, мкм |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Величина биения |
|-------------------|---|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|
| Радиальное биение | 1 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
|                   | 2 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
|                   | 3 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
| Торцовое биение   | 1 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое биение и как оно влияет на эксплуатационные свойства деталей, узлов и изделий машиностроения?
2. Какие виды биений Вы знаете?
3. Что представляет собой поле допуска радиального биения?
4. Что представляет собой поле допуска торцового биения?
5. Что представляет собой поле допуска биения в заданном направлении?
6. Как обозначаются допуски биений на чертежах?
7. Как измеряется биение на призме?
8. Какие требования предъявляются к приборам для измерения биений?
9. Как выбрать измерительную головку для измерения биений?
10. Назначение, конструкция, метрологические характеристики рычажно-зубчатой измерительной головки.
11. Чему равны допуски биений поверхностей деталей типа тел вращения не указанные индивидуально?

## 2. КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ

### 2.1. Основные понятия и определения

Шероховатость поверхности оказывает большое влияние на эксплуатационные свойства деталей, узлов и изделий машиностроения. Основные параметры, термины и определения устанавливает [ГОСТ 25142 – 82](#), а их числовые значения для нормирования шероховатости поверхности устанавливает [ГОСТ 2789 – 73](#).

**Шероховатостью поверхности** называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную, например, с помощью базовой длины.

Основная трудность, которая возникает при нормировании точности поверхностных неровностей, заключается в том, чтобы найти базу для измерения неровностей. Для определения этой базы требуется ввести несколько понятий и определений.

Линия, на которой выделяется совокупность поверхностных неровностей, называется базовой линией.

**Базовая линия (поверхность)** – это линия (поверхность), заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

Она имеет форму линии номинального профиля детали и расположена эквидистантно этому профилю, т.е. базовая линия зависит от вида поверхности элемента детали. Так базовая линия будет прямой, если неровности определяются на плоской поверхности или на образующих цилиндрических поверхностях и иметь форму окружности, если исследуемая поверхность имеет вид сферы или цилиндра, который пересекается плоскостью, перпендикулярной его оси.

В большинстве стран мира в качестве базовой линии при оценке поверхностных неровностей используется средняя линия.

**Средняя линия профиля ( $m$ )** – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

**Базовая длина  $l$**  – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности (рис. 2.1).

Для надежной оценки шероховатости с учетом рассеяния показаний прибора и возможной неоднородности строения неровностей измерения следует повторять несколько раз в разных местах поверхности и за результаты измерения принимать среднее арифметическое результатов измерения на нескольких длинах оценки.

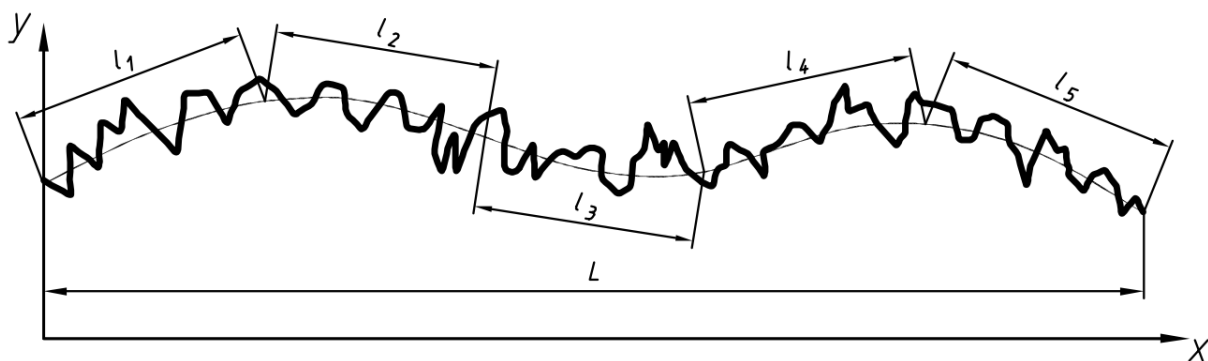


Рисунок 2.1 – Длина оценки

При нормировании неровностей устанавливаются определенные значения базовых длин, поскольку в общем случае профили поверхностей неоднородны, т.е. при частотном анализе неровностей профиля получаются чаще всего спектры, включающие в себя случайный набор частот, поскольку появление неровностей зависит от многих факторов. Базовая длина – это нормируемая величина, ее числовые значения установлены в ГОСТ 2789 – 73. Ориентировочно базовые длины можно ориентировочно разделить на три группы:

- для относительно малых неровностей ( $l = 0,01; 0,03; 0,08$  мм);
- для средних высот неровностей ( $l = 0,25; 0,8$  мм);
- для больших неровностей ( $l = 2,5; 8; 25$  мм).

**Длина оценки  $L$**  – длина, на которой оцениваются значения параметров шероховатости (рис. 2.1). Она может содержать одну или несколько базовых длин.

Таким образом, поверхностные неровности оцениваются по линии профиля и на определенной длине.

В разных странах мира существует более 40 геометрических параметров для оценки шероховатости. Однако для практического нормирования чаще всего используют шесть параметров, характеризующих высоту поверхностных неровностей (высотные), линейные (шаговые) показатели этих неровностей, а также характеризующие форму поверхностных неровностей (ГОСТ 2789 – 73).

*Высотные параметры:*

$Ra$  – среднее арифметическое отклонение профиля;

$Rz$  – наибольшая высота профиля;

$Rmax$  – полная высота профиля.

*Шаговые параметры:*

$Sm$  – средний шаг неровностей профиля;

$S$  – средний шаг местных выступов профиля.

*Параметры, характеризующие форму неровностей:*

$t_p$  – относительная опорная длина профиля.

На рис. 2.2 приводится профилограмма поверхности [6].

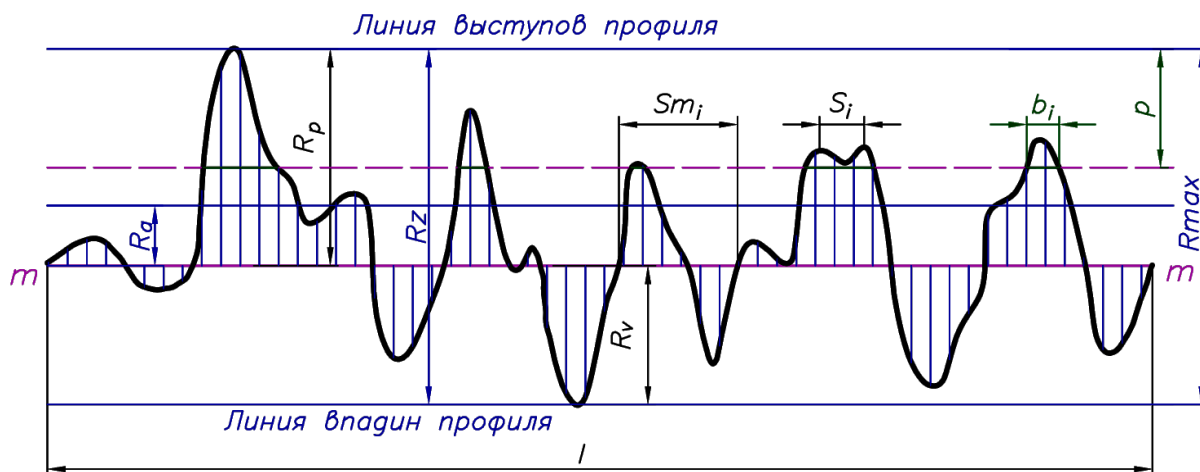


Рисунок 2.2 – Профилограмма поверхности

*Среднее арифметическое отклонение профиля ( $R_a$ )* – среднеарифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины  $l$ :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \text{ или приближенно: } R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $l$  – базовая длина;  $n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине.

*Наибольшая высота профиля ( $R_z$ )* – сумма высоты наибольшего выступа профиля  $R_p$  и глубины наибольшей впадины профиля  $R_v$  в пределах базовой длины  $l$ :

$$R_z = R_p + R_v.$$

*Полная высота профиля ( $R_{max}$ )* – сумма высоты наибольшего выступа профиля  $R_p$  и глубины наибольшей впадины профиля  $R_v$  в пределах длины оценки  $L$  (длины, на которой оцениваются значения параметров шероховатости).

*Средний шаг неровностей профиля ( $S_m$ )* – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i},$$

где  $n$  – количество шагов неровностей профиля на базовой длине.

*Средний шаг местных выступов профиля ( $S$ )* – среднее значение шагов местных выступов профиля в пределах базовой длины  $l$ :

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i.$$

*Относительная опорная длина профиля ( $t_p$ )* – отношение опорной длины профиля к базовой длине  $l$ :

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100\%,$$

где  $\eta_p$  – опорная длина профиля, равная сумме длин отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне  $p$  в материале профиля линией, эквидистантной средней линии. Значение уровня сечения  $p$  нормируется в процентах от  $R_{max}$ .

## 2.2. Методы и средства контроля шероховатости поверхностей

Контроль шероховатости поверхности может быть двух видов: *приемочный контроль* готовой продукции с целью определения годности изделий и выявления брака и *периодический контроль* обрабатываемой детали на важнейших стадиях обработки с целью поддержания таких условий обработки, которые обеспечивают получение деталей с заданной шероховатостью поверхности. Оценка шероховатости поверхности проводится по двум видам контроля: *качественному* и *количественному*.

*Качественный контроль* шероховатости поверхности осуществляют путем сравнения с образцами шероховатости. Образец шероховатости поверхности – это образец поверхности с известными параметрами шероховатости, полученный определенным способом обработки. ГОСТ 9378 – 93 устанавливает технические требования на образцы шероховатости поверхности, предназначенные для сравнения визуально и на ощупь с поверхностями изделия, полученными обработкой резанием, полированием, электроэрозионной, дробеструйной и пескоструйной обработкой, снятием позитивных отпечатков гальванопластикой или нанесением покрытий на пластмассовые отпечатки. Образцы могут изготавливаться применением способа обработки, который должен воспроизвести образец.

В табл. 2.1 приведены способы обработки, воспроизводимые образцами, форма образца и основное направление неровностей поверхности.

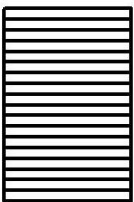
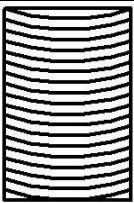
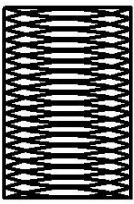
Ширина образцов сравнения должна быть не менее 20 мм, а длина, в зависимости от параметра  $Ra$  и базовой длины, составляет 20...50 мм.

Образцы шероховатости комплектуют наборами, к которым прилагают паспорт по ГОСТ 2.601 – 2006, содержащий перечень образцов, воспроизводимые способы обработки и значения параметров шероховатости.

В условном обозначении образца шероховатости указывается номи-

нальное значение параметра шероховатости  $Ra$ , условное обозначение способа обработки (по табл. 2.1) и обозначение стандарта. Например, *Образец шероховатости 1,6 ШЧ ГОСТ 9378-93* или *Набор образцов шероховатости 0,2...0,8 ШЦВ ГОСТ 9378-93*, где 1,6 и 0,2...0,8 – значения параметров шероховатости  $Ra$ ; ШЧ – шлифование чашеобразным кругом; ШЦВ – шлифование периферией круга, форма образца цилиндрическая вогнутая.

Таблица 2.1 – Характеристики образцов шероховатости

| Способ обработки                       | Форма образца                                             | Условное обозначение способа обработки | Расположение неровностей                    |                                                                                       |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |                                                           |                                        | Описание                                    | Условное изображение                                                                  |
| Точение                                | Цилиндрическая выпуклая                                   | Т                                      | Прямолинейное                               |   |
| Расточка                               | Цилиндрическая вогнутая                                   | Р                                      |                                             |                                                                                       |
| Фрезерование цилиндрическое            | Плоская                                                   | ФЦ                                     |                                             |                                                                                       |
| Строгание                              | Плоская                                                   | С                                      |                                             |                                                                                       |
| Шлифование периферией круга            | Плоская, цилиндрическая выпуклая, цилиндрическая вогнутая | ШП<br>ШЦ<br>ШЦВ                        |                                             |                                                                                       |
| Точение торцовое                       | Плоская                                                   | ТТ                                     | Дугообразное                                |  |
| Фрезерование торцовое                  | Плоская                                                   | ФТ                                     |                                             |                                                                                       |
| Фрезерование торцовое                  | Плоская                                                   | ФТП                                    | Перекрещивающееся дугообразное              |  |
| Шлифование торцовое                    | Плоская                                                   | ШТ                                     |                                             |                                                                                       |
| Шлифование чашеобразным кругом         | Плоская                                                   | ШЧ                                     |                                             |                                                                                       |
| Электроэрозионная обработка            | Плоская                                                   | Э                                      | Не имеющее определенного направления штриха | —                                                                                     |
| Дробеструйная, пескоструйная обработка | Плоская                                                   | ДС<br>ПС                               |                                             |                                                                                       |
| Полирование                            | Плоская, цилиндрическая выпуклая                          | ПП<br>ПЦ                               | Путаный штрих                               | —                                                                                     |

Визуально можно удовлетворительно оценить шероховатость поверхности с  $Ra = 0,6 \dots 0,8$  мкм и более. Для повышения точности используют лупы и микроскопы сравнения.

*Количественный контроль* параметров шероховатости осуществляют бесконтактными (приборы светового сечения, приборы теневого сечения, микроинтерферометры, растровые измерительные микроскопы, рефлектометры, лазерные, пневматические приборы и др.) и контактными (профилометры и профилографы) средствами измерения. Характеристики основных приборов приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики приборов

| Тип прибора                                            |                | Контролируемые параметры                 | Пределы измерения                                                                         | Базовые длины, мм                  |
|--------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Профилограф-профилометр мод. 201                       | Профилометр    | $Ra$                                     | $8,0 \dots 0,02$ мкм                                                                      | $0,08; 0,25; 0,8; 2,5$             |
|                                                        | Профилограф    | $Ra$<br>$Rz, R_{max}$<br>$S, Sm$<br>$tp$ | $20 \dots 0,008$ мкм<br>$100 \dots 0,025$ мкм<br>$12,5 \dots 0,003$ мм<br>$90 \dots 10$ % | Весь ряд                           |
| Профилометр мод. 253                                   |                | $Ra$                                     | $2,5 \dots 0,04$ мкм                                                                      | $0,25; 0,8; 2,5$                   |
| Профилометр мод. 283                                   |                | $Ra$                                     | $10 \dots 0,02$ мкм                                                                       | $0,25; 0,8$                        |
| Профилограф-профилометр мод. 252 (с цифровым отсчетом) | Профилометр    | $Ra$<br>$R_{max}$<br>$Sm$<br>$tp$        | $100 \dots 0,02$ мкм<br>$200 \dots 0,1$ мкм<br>$12,5 \dots 0,003$ мм<br>$100 \dots 0$ %   | $0,08; 0,25; 0,8; 2,5$             |
|                                                        | Профилограф    | $Rz, R_{max}$<br>$Ra$<br>$S, Sm$<br>$tp$ | $250 \dots 0,02$ мкм<br>$60 \dots 0,05$ мкм<br>$12,5 \dots 0,003$ мм<br>$100 \dots 0$ %   | Весь ряд                           |
| Приборы светового сечения                              | ПСС-2 (МИС-11) | $Rz, R_{max}$<br>$S, Sm$                 | $40 \dots 0,8$ мкм<br>$2,5 \dots 0,002$ мм                                                | $2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01$ |
| ОРИМ-1                                                 |                | $Rz, R_{max}$<br>$S, Sm$                 | $40 \dots 0,4$ мкм<br>$2,5 \dots 0,002$ мм                                                | $2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01$ |
| ПТС-1                                                  |                | $Rz, R_{max}$<br>$S, Sm$                 | $320 \dots 40$ мкм<br>$6,3 \dots 0,02$ мм                                                 | $8; 2,5; 0,8; 0,25$                |
| Микроинтерферометр МИИ-4                               |                | $Rz, R_{max}$<br>$S, Sm$                 | $0,8 \dots 0,1$ мкм<br>$0,25 \dots 0,02$ мм                                               | $0,25; 0,08; 0,03; 0,01$           |
| Мобильные измерители шероховатости                     | ПМ-210         | $Ra$<br>$Rz$                             | $0,025 \dots 12,5$ мкм<br>$0,02 \dots 160$ мкм                                            | $2,5; 0,8; 0,25; 0,08$             |
|                                                        | ПМ-500         | $Ra$<br>$Rz$                             | $0,05 \dots 8$ мкм<br>$0,02 \dots 160$ мкм                                                | $2,5; 0,8; 0,25; 0,08$             |

При выборе метода и типа прибора для измерения и контроля шероховатости необходимо учитывать: возможность контроля предписанного чертежом параметра; пределы измерения, погрешность измерения, производительность прибора; допускаемые отклонения контролируемого параметра, форму, размеры и материал детали и другие факторы.

В бесконтактных приборах (типа ПСС-2 и МИС-11), принцип действия которых основан на измерении параметров проекции светового сечения исследуемой поверхности с помощью наклонно направленного к ней светового пучка (рис. 2.3) [1-4]. Световой луч проходит через диафрагму **1** с узкой щелью и конденсор **2** и проецирует световую полосу поверхности **3** объективом **4** в фокальную плоскость окуляра **5**. Высоту микронеровностей измеряют с помощью окуляра-микрометра.

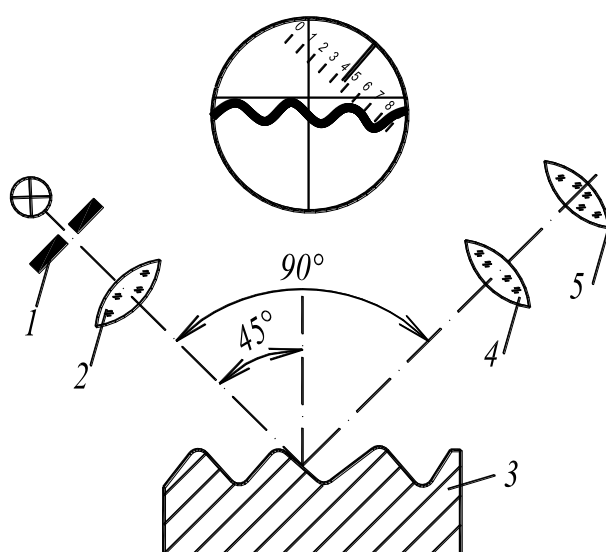


Рисунок 2.3 – Схема двойного микроскопа МИС – 11 (ПСС – 2)

Принцип действия микроинтерферометров основан на использовании явления интерференции света, отраженного от образцовой и исследуемой поверхностей. Форма образующихся интерференционных полос зависит от вида и высоты (до 1 мкм) неровностей контролируемой поверхности. Наиболее типичным является прибор МИИ-4, оптическая схема которого показана на рис. 2.4, а [4].

Свет от осветительного устройства **1** разделяется на пластине **4**. Один световой поток проходит через объектив **5**, отражается от зеркала **6** и возвращается к пластине **4**. Другой поток света проходит объектив **3**, и, отразившись от поверхности изделия **2**, также возвращается к пластине **4**. Интерференционная картина направляется объективом **7** через зеркало **8** в фокальную плоскость окуляра **9**. Наблюдаемая интерференционная картина может быть сфотографирована с помощью объектива **10**, который дает

действительное изображение в плоскости 11. Зеркало 8 при этом выводят из хода лучей.

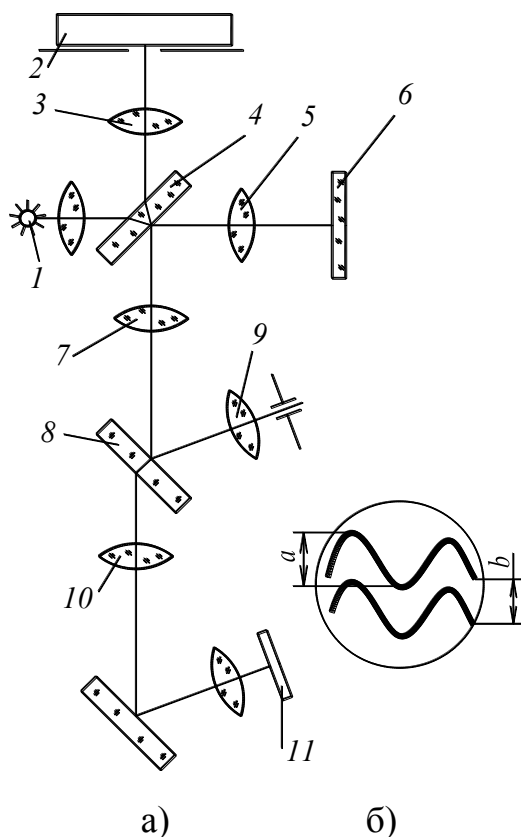


Рисунок 2.4 – Схема микроинтерферометра МИИ-4

Неровности поверхности изделия 2 приводят к искривлению интерференционных полос (рис. 2.4, б). Величину неровности определяют в зависимости от величины искривления интерференционных полос ( $a$ ), ширины полосы ( $b$ ) и длины волны света, применяемого при измерениях ( $\lambda$ ).

Растровый метод измерения шероховатости поверхности заключается в следующем. Если на измеряемую поверхность наложить стеклянную пластинку, на которую нанесены с малым шагом штрихи (растровая сетка), при наклонном падении лучей отраженная растровая сетка накладывается на штрихи самой сетки и наблюдаются муаровые полосы. Это явление используется в растровом измерительном микроскопе ОРИМ-1, который предназначен для измерения высоты неровностей (от 0,4 до 40 мкм) наружных поверхностей деталей со следами обработки, имеющими определенное преимущественное направление [4]. При наличии неровностей муаровые полосы искривляются. Высоту микронеровностей определяют по степени искривления муаровых полос.

Оптическая система растрового микроскопа показана на рис. 2.5. Штрихи растровой сетки 3 пересекают совмещенную с сеткой узкую и длинную щель. Форма щели и расстояние между штрихами подобраны так,

чтобы после проецирования на поверхность они были эквидистантными, а изображение щели становилось прямым и одинаковой ширины на всем протяжении. Щель освещают белым источником света 5 через конденсор 4 и на измеряемой поверхности 1 получают изображение чередующихся коротких и узких участков освещенной щели. Для проецирования используется микрообъектив 2. Под некоторым углом к поверхности наблюдают искривленное распределение растровых элементов вдоль щели. Изображение раstra проектируют с помощью объектива 10 и зеркала 6 в наблюдательную систему. Для увеличения проекции в направлении, перпендикулярном изображению щели, используют цилиндрическую линзу 7. В фокальной плоскости окуляра 9 располагают растр 8, шаг которого номинально равен размеру изображения первой растровой сетки, и в этой плоскости наблюдают муаровые полосы. Если поверхность лишена неровностей, то муаровые полосы будут представлять собой систему прямых темных и светлых линий. При наличии на поверхности неровностей муаровые полосы искривляются пропорционально масштабу проектируемого раstra.

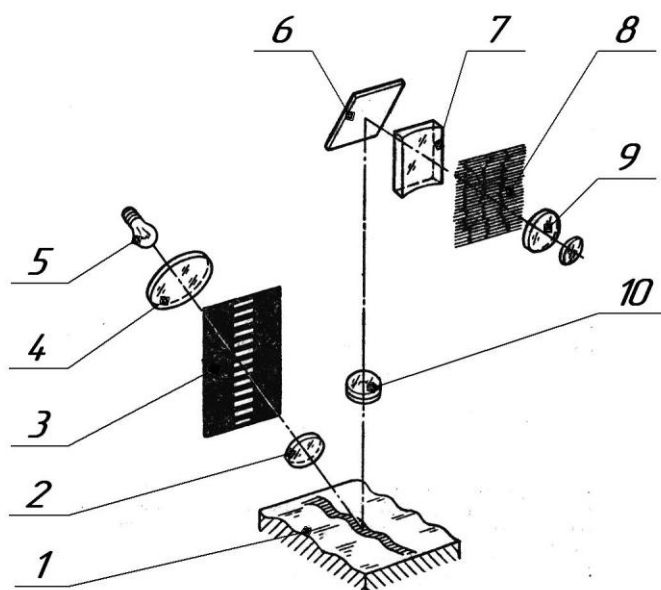


Рисунок 2.5 – Оптическая схема растрового микроскопа

Рефлектометрический метод измерения шероховатости поверхности заключается в измерении оптических характеристик отраженного излучения. При отражении излучения от границы раздела двух сред происходит его поляризация, которая зависит с одной стороны, от угла падения, с другой стороны – от оптических свойств граничащих сред [4].

Изменение поляризационных характеристик отраженного от изучаемой поверхности излучения несет информацию о параметрах поверхности. Отслеживая изменения поляризации отраженного излучения можно судить о шероховатости поверхности.

Структурная схема устройства, реализующего данный метод, изображена на рис. 2.6.

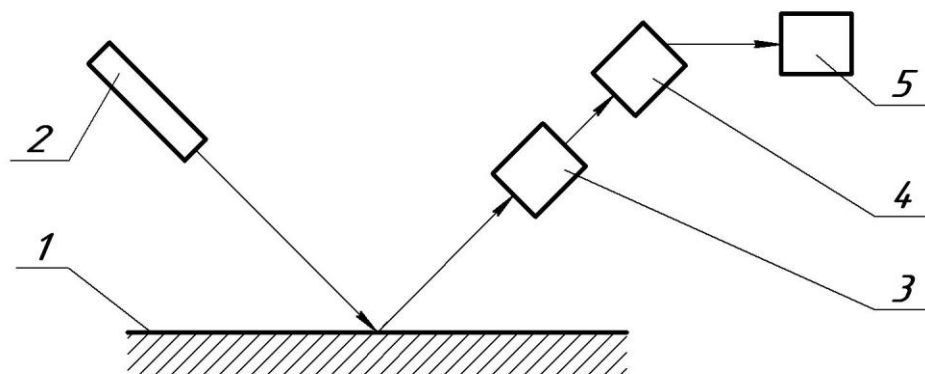


Рисунок 2.6 – Структурная схема рефлектиметрического устройства

Устройство работает следующим образом. Излучение от источника света 2 отражается от контролируемой поверхности 1. При этом происходит изменение его степени поляризации, связанное с шероховатостью поверхности. Отраженный свет проходит через три поляризатора 3, плоскости поляризации которых ориентированы через  $45^\circ$  друг относительно друга, в которых происходит поляризация излучения. Три пучка линейно-поляризованного излучения под углом 0, 45 и  $90^\circ$  подают на трехплощадочный фотоприемник 4. На нем электромагнитное излучение преобразуется в электрические сигналы. Напряжение с фотоприемников подается на блок электронной обработки 5, где происходит вычисление степени поляризации. По полученной степени поляризации отраженного излучения судят о шероховатости поверхности.

В качестве источника света используется лазерный диод. Его использование обусловлено, с одной стороны, спецификой лазерного излучения, такими как высокая когерентность, монохроматичность и т.д., с другой стороны, появлением недорогих полупроводниковых источников лазерного излучения.

Блок электронной обработки включает схемы выборки и хранения, аналоговый коммутатор, аналогово-цифровой преобразователь, микропроцессорную систему, интерфейс вывода информации. В качестве последнего может применяться как блок цифровой индикации, так и устройство обратной связи с технологическим оборудованием.

Принцип действия контактных (щуповых) приборов для измерения шероховатости заключается в том, что по измеряемой поверхности перемещается игла с малым радиусом закругления и вертикальные колебания иглы, вызванные поверхностными неровностями, преобразуются в колебания напряжения электрического тока с помощью индуктивных, механических, емкостных, пьезоэлектрических и других преобразователей.

По виду выдаваемой информации эти приборы обычно разделяют на профилографы-профилометры и профилометры [2].

Профилограф – прибор для записи величин неровностей поверхности в нормальном к ней сечении в виде профилограммы, обработкой которой определяются параметры, характеризующие шероховатость и волнистость поверхности.

Профилометр – прибор для измерения величин неровностей поверхности в нормальном к ней сечении и представлении результатов измерения на шкале прибора в виде значения одного из параметров, используемых для оценки этих неровностей. Большинство профилометров дает оценку поверхностных неровностей по параметру  $Ra$ . Оценка шероховатости по параметру  $Rz$  связана с трудностями обработки сигнала.

Профилограф-профилометр мод. 252, в котором использован индуктивный преобразователь, позволяет записывать профиль неровностей в увеличенном масштабе в виде профилограммы или измерять параметры шероховатости в цифровом виде по шкалам приборов.

На рис. 2.7 приведена схема профилографа-профилометра мод.252.

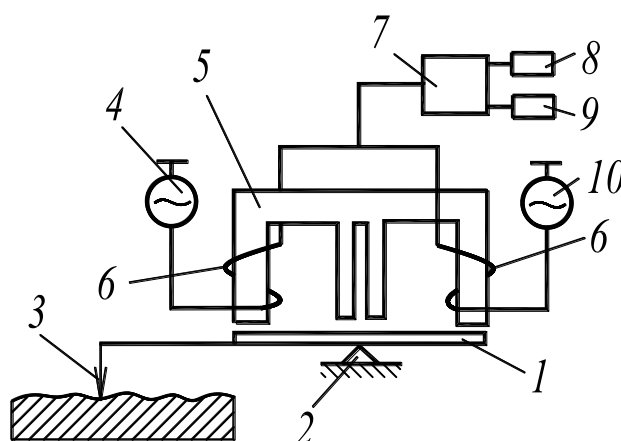


Рисунок 2.7 – Схема профилографа-профилометра мод.252

Прибор снабжен преобразователем, электронным измерительным блоком 7 со счетно-решающим блоком 8 и записывающим устройством 9. Индуктивный преобразователь выполняют в виде сердечника 5 с двумя катушками 6. Катушки и две половины первичной обмотки дифференциального входного трансформатора включены по мостовой схеме, питание которой происходит от генераторов 4 и 10 с частотой 10 кГц. При перемещении по контролируемой поверхности алмазная игла 3 преобразователя вместе с якорем, подвешенном на опоре 2, совершает крутильные колебания. Повороты якоря перераспределяют индуктивности катушек, изменяя тем самым выходное напряжение дифференциального трансформатора. Изменения амплитуды напряжения характеризуют высоту микронеровно-

стей, а изменение частоты (при работе прибора в режиме профилометра) – их шаг. Числовые значения параметров определяют с помощью цифрового отсчетного устройства. При работе прибора в режиме профилографа изменения напряжения подаются на записывающее устройство.

В цеховых условиях возникает потребность в оперативном определении параметров шероховатости поверхности, а не в записи профилограмм. Для этой цели выпускают цеховые профилометры мод. 253 и мод. 283, принцип действия которых основан на преобразовании колебания иглы с помощью механотронного преобразователя. В настоящее время выпускаются мобильные измерители шероховатости, а также портативные профилометры серии TR и их аналоги (профилометр SRT-100, профилометры серии ИШП), позволяющие измерять различные параметры шероховатости.

Для измерения шероховатости поверхностей сложной формы и в труднодоступных местах применяют метод слепков, заключающийся в снятии копий с поверхностей [2]. Вначале снимают отпечаток поверхности – ее реплику, по которой оценивают параметры шероховатости. Для снятия копий используют киноплёнку, растворимую в ацетоне, при высоте неровностей в диапазоне от 0,5 до 20 мкм; восковые сплавы, например, смесь пчелиного воска, терпентина и графита; масляно-гуттаперчевую массу, состоящую из гуттаперчи, масла и пека.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ДВОЙНОМ МИКРОСКОПЕ МИС-11

**Цель работы:** Изучение принципа действия и конструкции двойного микроскопа МИС-11, приобретение практических навыков работы на микроскопе, измерение параметра шероховатости  $R_z$ .

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ*

Двойной микроскоп МИС-11 предназначен для проверки качества обработки наружных поверхностей деталей путем измерения высоты неровностей микропрофиля по параметру  $R_z$  и  $S$  по методу академика Б.П. Линника.

Он представляет систему двух микроскопов, оси которых составляют между собой угол  $90^\circ$ , причем биссектриса этого угла совпадает с нормалью к измеряемой поверхности. Один из микроскопов является проектирующим, а второй - наблюдательным.

Общий вид двойного микроскопа МИС-11 представлен на рис. Л8.1.

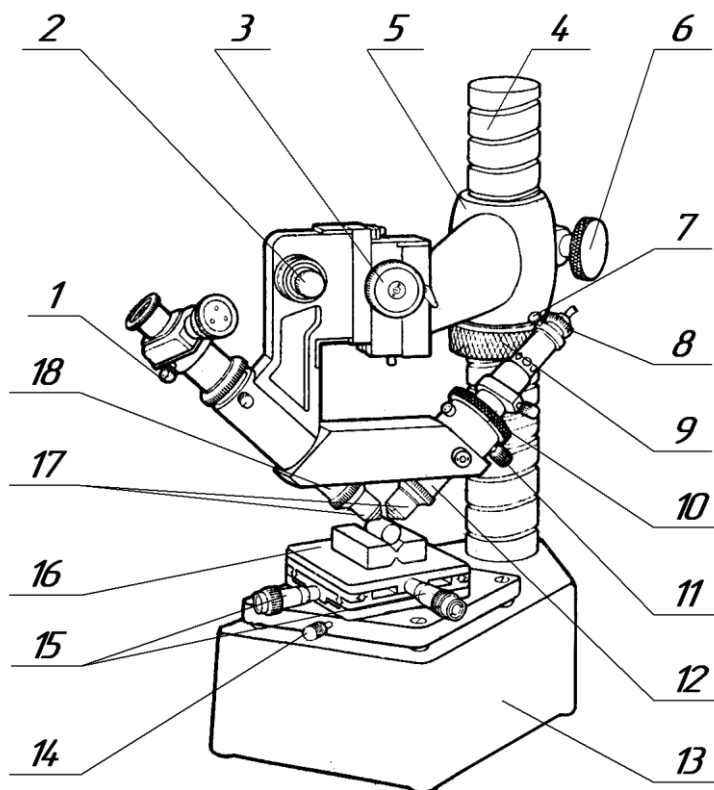


Рисунок Л8.1 – Общий вид двойного микроскопа МИС-11

Двойной микроскоп МИС-11 состоит из массивного основания 13 (рис. Л8.1), на котором установлена колонка 4, несущая кронштейн 5 с тубусами микроскопа 18 и осветителя 12. По колонке кронштейна перемещается гайка 9, которая фиксируется в нужном положении винтом 6. При помощи кремальеры (маховичка) 3 и микрометрического механизма точной установки (барабанчик) 2 тубусы могут быть передвинуты по высоте для фокусировки. В нижнюю часть каждого из тубусов микроскопа ввинчиваются объективы 17. К прибору прилагается набор сменных объективов с разным фокусным расстоянием.

В верхней части проектирующего микроскопа расположен патрон с электролампой 8, который можно, передвигать при регулировке освещения и зажимать винтом 7. Лампочка питается от сети переменного тока 127/220 В через трансформатор, в корпус которого вмонтирован реостат для регулировки накала.

Предметный столик 16 микроскопа может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью микровинтов 15, а также поворачиваться вокруг вертикальной оси и фиксируется стопорным винтом 14. Для установки цилиндрических деталей к прибору прилагается съемная призма.

Принципиальная оптическая схема микроскопа показана на рис. Л8.2.

Лампа 1 через щель 2 и объектив 3 освещает параллельным пучком лучей измеряемый участок поверхности детали. Часть освещенной полоски поверхности проектируется объективом 4 на сетку 5 окулярного микрометра в виде полоски с двумя параллельными световыми сечениями. Изображение этой полоски и перекрестие окулярного микрометра рассматриваются через окуляр 6 (см. рис. Л8.2).

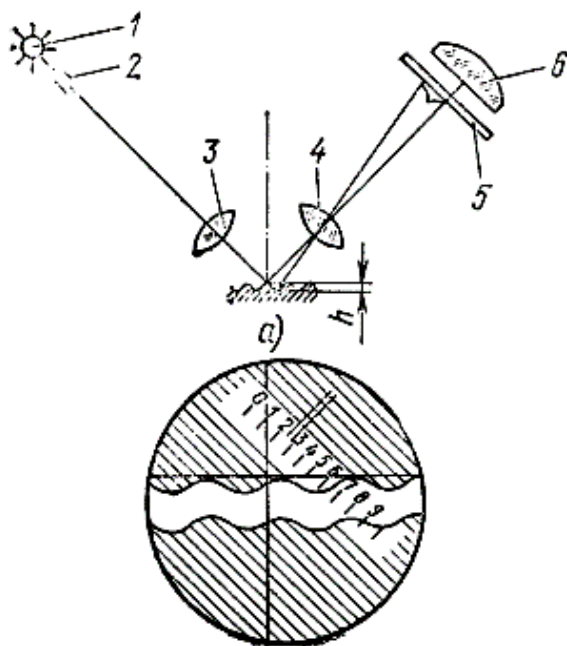


Рисунок Л8.2 – Принципиальная оптическая схема микроскопа

В табл. Л8.1 приведены основные характеристики оптической системы, в табл. Л8.2 – пределы и погрешности измерения двойным микроскопом МИС-11.

Таблица Л8.1 – Характеристика набора сменных объективов

| Обозначение объектива | Фокусное расстояние F, мм | Увеличение объектива N | Поле зрения, мм |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
| ОС-39                 | 25,02                     | 5,8 <sup>x</sup>       | 2,0             |
| ОС-40                 | 13,89                     | 10,5 <sup>x</sup>      | 1,08            |
| ОС-41                 | 8,16                      | 18 <sup>x</sup>        | 0,67            |
| ОС-42                 | 4,25                      | 34,5 <sup>x</sup>      | 0,33            |

Таблица Л8.2 – Пределы и погрешности измерения

| Обозначение объектива | Пределы измерения чистоты поверхности | Средняя квадратическая погрешность, в % |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| ОС-39                 | 6,3 – 62,5                            | 7,5 – 13,5                              |
| ОС-40                 | 3,2 – 18,7                            | 10,5 – 18                               |
| ОС-41                 | 1,6 – 10                              | 13,5 – 21                               |
| ОС-42                 | 0,8 – 3,2                             | 21 – 24                                 |

Увеличение микрометра окулярного винтового 15<sup>x</sup>; цена деления шкалы барабана 0,01 мм

Максимальный размер исследуемой детали 100 мм.

Максимальное перемещение координатного столика 10 мм.

Цена деления шкалы микрометрического винта координатного столика 0,01 мм.

Основным недостатком прибора МИС-11 является несоответствие длины, на которой возможно измерение параметров шероховатости, стандартной базовой длине. Это несоответствие обусловлено размером поля зрения прибора МИС-11.

#### ***Определение цены деления прибора***

В тубусы микроскопов ввинчиваются два одинаковых объектива, соответствующих требуемому увеличению для предполагаемого шероховатости поверхности детали.

Определяется цена деления шкалы окулярного микрометра при помощи объект-микрометра. Объект-микрометр прилагается к прибору и представляет собой стеклянную пластинку с нанесенной на ней шкалой (с ценой деления 0,01 мм).

Объект-микрометр кладут на стол прибора. Включают освещение микроскопа. Кронштейн с корпусом микроскопов устанавливают на требуемой высоте вращением гайки 9 при освобожденном винте 6, после чего

винт стопорят. Производя подъем или опускание микроскопов при помощи винта 3, получают изображение световой щели. Наблюдая изображение щели через визуальный микроскоп, добиваются, перемещая объект-микрометр по столику прибора, чтобы шкала попала в изображение щели и штрихи шкалы были перпендикулярны ее изображению (рис. Л8.3).

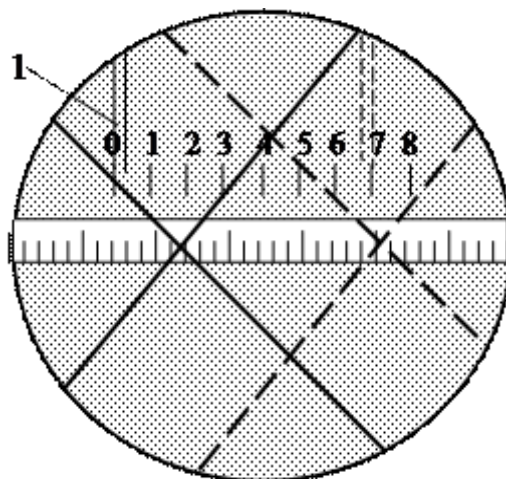


Рисунок Л8.3 – Поле зрения окулярного микрометра

Деления неподвижной шкалы окулярного микрометра при этом должны быть параллельны делениям шкалы объект-микрометра. Затем перекрестие окулярного микрометра совмещают с каким-либо штрихом объект-микрометра и снимают отсчет в окуляре и по барабану окулярного микрометра. Наблюдая в окуляр, переводят перекрестие на другой штрих объект-микрометра, отстоящий на некоторое число делений (чем больше расстояние между штрихами, тем больше точность определения), и аналогично снимают второй отсчет.

Отсчет полных оборотов барабана производится при помощи биссектора 1, перемещающегося относительно неподвижной шкалы окуляра, одновременно с перекрестием. Определение цены деления производится по формуле:

$$E = \frac{z \cdot T}{2A},$$

где  $z$  – число делений шкалы объект-микрометра, пройденных перекрестием окуляр-микрометра;

$T$  – цена деления объект-микрометра;

$A$  – разность отсчетов, полученных при двух совмещениях перекрестия, выраженная в делениях барабана.

## ***1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора***

Окуляр-микрометр поворачивают вокруг оси таким образом, чтобы

горизонтальная линия перекрестия встала параллельно линии щели, и стопорят в этом положении (рис. Л8.4). На предметный столик прибора кладут измеряемую деталь и фокусируют изображение щели на детали призмами, описанными выше.

Поворачивая от руки измеряемую деталь, ориентируют ее таким образом, чтобы направление неровностей было перпендикулярно изображению щели.

Одна сторона щели фокусируется обычно более резко, чем другая, и по ней производится измерение. Горизонтальная линия перекрестия подводится сначала к вершине изгиба щели по выбранной стороне, а затем к впадине по той же стороне щели (см. рис. Л8.4).

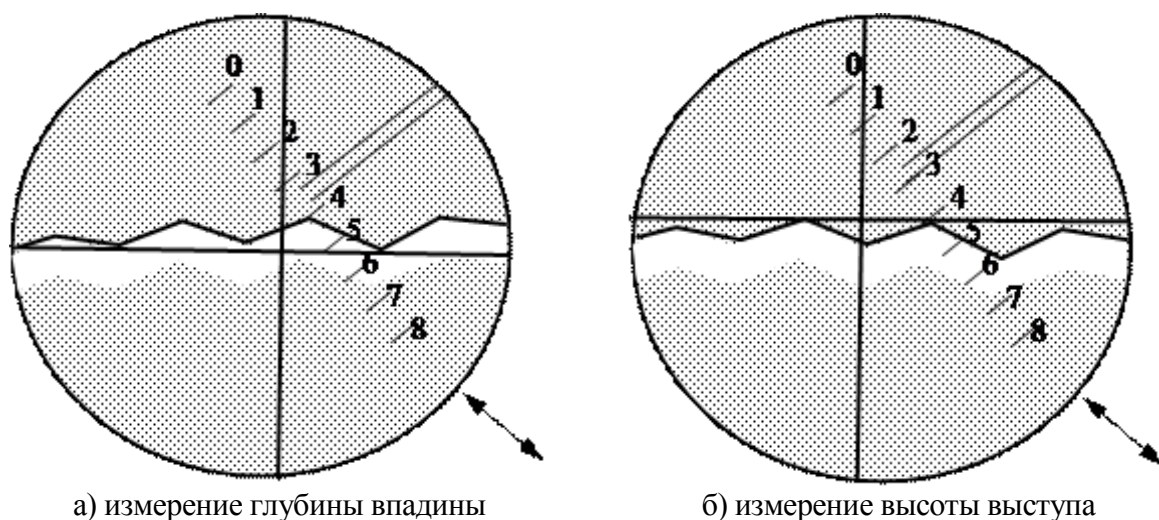


Рисунок Л8.4 – Поле зрения окулярного микрометра во время измерения

Максимальная разность показаний двойного микроскопа на базовой длине, умноженная на масштабную цену деления, определит значение высоты неровностей  $R_z$ .

Перемещение изображения щели на длине участка измерения осуществляется винтом продольного перемещения столика микроскопа.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Сделать эскиз измеряемой детали.
2. Ознакомиться с методом светового сечения.
3. Изучить назначение, конструкцию и метрологические характеристики измерительного прибора.
4. Изучить принцип действия и порядок снятия показаний.
5. Определить цену деления прибора.
6. Измерить параметр шероховатости  $R_z$ .
7. Сделать заключение о годности детали.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Сделать эскиз измеряемой детали.
2. Изучить назначение, конструкцию и метрологические характеристики измерительного прибора. Технические характеристики измерительного средства занести в табл. Л8.3.

Таблица Л8.3 – Технические характеристики

|                                                   |  |
|---------------------------------------------------|--|
| Наименование прибора                              |  |
| Пределы измерения параметров:<br>- $R_z$<br>- $S$ |  |
| Количество сменных объективов                     |  |
| Принцип действия прибора                          |  |
| Погрешность                                       |  |

3. Изучить принцип действия и порядок снятия показаний.
4. Включить прибор через понижающий трансформатор в сеть.
5. Установить объект-микрометр на предметный столик 16 и определить цену деления прибора (табл. Л8.4).

Таблица Л8.4 – Определение цены деления прибора

| Параметр                                                                                       |     | Значение                     |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------|---------|
| Число делений шкалы объект-микрометра, пройденных перекрестием окуляр-микрометра               | $z$ |                              |         |
| Цена деления объект-микрометра, мкм                                                            | $T$ |                              |         |
| Разность отсчетов, полученных при двух совмещениях перекрестия, выраженная в делениях барабана | $A$ | $A_1 =$                      | $A_2 =$ |
|                                                                                                |     | $A = A_2 - A_1 =$            |         |
| Цена деления прибора на данном объективе:                                                      |     | $E = \frac{z \cdot T}{2A} =$ |         |

6. Установить деталь на предметный столик 16. Деталь устанавливается так, чтобы оптические оси обоих тубусов были направлены вдоль следов обработки, т.е. перпендикулярны к изображению щели.

7. Сфокусировать прибор на измеряемую поверхность при помощи маховичка 3.

Добиться того, чтобы световая полоска была наиболее узкой, а обе границы света и тени – четкими. Поворотом окулярного микрометра вокруг оси микроскопа (при отпущенном стопорном винте) установить горизонтальную линию перекрестия параллельно вершинам гребешков (рис. Л8.4) и закрепить стопорный винт 1.

Если в поле зрения наблюдается менее пяти гребешков, то следует за-

менить установленные объективы на другие, с меньшим увеличением. После замены объективов повторить снова весь процесс фокусировки.

8. Выполнить измерения.

Измерить первую пару выступ  $R_{pi}$  и впадина  $R_{vi}$ . Для этого подвести нить перекрестия микровинтом 2 к верхнему краю выступа (см. рис. Л8.4), снять отсчет  $R_{pi}$ , затем нить перекрестия подвести к впадине и снова снять отсчет  $R_{vi}$ . Данные записать в табл. Л8.5.

Таблица Л8.5 – Результаты измерения на базовой длине

| № пары | Высота вершины $R_{pi}$ | Глубина впадины $R_{vi}$ | Наибольшая разность отсчётов<br>$N \rightarrow \max \left\{ \begin{array}{l}  R_{p\max} - R_{v\min}  \\  R_{p\min} - R_{v\max}  \end{array} \right\}$ | Наибольшая высота профиля<br>$R_z = N \cdot E$ |
|--------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1      |                         |                          |                                                                                                                                                       |                                                |
| 2      |                         |                          |                                                                                                                                                       |                                                |
| 3      |                         |                          |                                                                                                                                                       |                                                |
| 4      |                         |                          |                                                                                                                                                       |                                                |
| 5      |                         |                          |                                                                                                                                                       |                                                |

9. Аналогично измерить еще 4 пары выступов и впадин. Данные занести в табл. Л8.5.

10. Сделать заключение о годности детали.

11. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется шероховатостью поверхности?
2. Что понимается под базовой длинной и средней линией.
3. Назовите параметры, установленные для оценки шероховатости поверхности.
4. Что такое величина  $R_z$  и как она определяется?
5. Как обозначается шероховатость на чертежах?
6. Какие бывают методы и средства, применяемые для измерения шероховатости?
7. Какие приборы применяются для оценки шероховатости поверхности?
8. Назовите вид и метод измерения на приборе МИС-11.
9. По каким параметрам оценивается шероховатость поверхности с помощью прибора МИС-11?
10. Каково устройство прибора МИС-11?
11. Для какой цели служит объект-микрометр?
12. Чему равна цена деления объект-микрометра?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА МИИ-4

**Цель работы:** Изучение принципа действия и конструкции микроинтерферометра МИИ-4, приобретение практических навыков работы на микроскопе, измерение наибольшей высоты профиля  $R_z$ .

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ*

Микроинтерферометр Линника МИИ-4 предназначен для визуальной оценки, измерения и фотографирования высоты неровностей поверхностей с высокой чистотой обработки.

Прибор МИИ-4 позволяет измерять высоты неровностей в пределах от 1 до 0,03 мкм.

Принцип действия прибора основан на явлении интерференции света. Общий вид микроинтерферометра МИИ-4 приведен на рис. Л9.1.

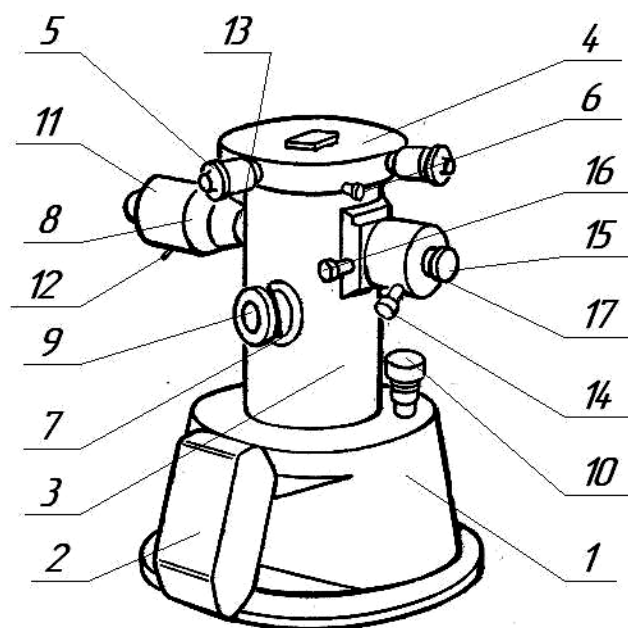


Рисунок Л9.1 – Общий вид интерференционного микроскопа МИИ-4

Микроинтерферометр МИИ-4 имеет круглое основание 1, на котором может быть установлена фотокамера 2. К верхнему торцу основания привинчена цилиндрическая полая колонка 3, несущая предметный столик 4, который при помощи двух микровинтов 5 может перемещаться в двух вза-

имно перпендикулярных направлениях. Цена деления микровинтов равна 0,005 мм. Кроме того, столик может поворачиваться вокруг вертикальной оси и стопориться винтом 6.

В колонке 3 под углом  $70^\circ$  к вертикальной оси расположен наблюдательный тубус с винтовым окулярным микрометром МОВ-1-15<sup>x</sup>. На тубусе имеется кольцо 7, вращением которого можно вводить или выводить зеркало 9. При измерении зеркало 9 должно быть введено в оптическую систему, а при фотографировании выведено.

Вращением микровинта 10 осуществляется фокусировка микроскопа на объект. Отсчеты величины вертикального перемещения интерференционной головки производятся по шкале барабана микровинта с ценой делений 0,003 мм.

Интерференционная головка состоит из трех частей: левой, средней и правой.

Левая часть состоит из фонаря 11 с винтом 12 (для центровки лампы) и трубки, внутрь которой вмонтирована осветительная часть системы (рис. Л9.1). В трубке установлена горизонтально выдвигающаяся пластинка с тремя отверстиями. В двух передних отверстиях установлены светофильтры разных характеристик для получения монохроматического света (зеленый и желтый), среднее (свободное) отверстие используется при работе с белым светом. Кольцо 13 с накаткой служит для изменения диаметра открытия апертурной диафрагмы.

В среднюю часть постоянно ввинчен объектив, внутри корпуса установлены разделительная пластинка 4 и компенсатор (рис. Л9.1).

Правая часть содержит второй объектив, эталонное зеркало и устройство для изменения ширины и направления интерференционных полос. Ширина полос изменяется вращением винта 14 (рис. Л9.1) вокруг своей оси, изменение направления полос осуществляется вращением этого же винта вокруг оси всей интерференционной головки. Винт 15 служит для смещения интерференционных полос в поле зрения микроскопа.

Общее увеличение микроинтерферометра МИИ-4 составляет 490 при визуальном наблюдении и 260 при фотографировании.

Средняя арифметическая погрешность измерений составляет 0,03...0,04 мкм при измерении неровностей высотой 0,05...0,1 мкм и 0,06...0,08 мкм при измерении неровностей высотой 0,2...1,0 мкм, что составляет примерно 5%.

Основные метрологические и технические характеристики микроинтерферометра МИИ-4 представлены в табл. Л9.1.

Таблица Л9.1 – Метрологические и технические характеристики микроинтерферометра МИИ-4

|                                                                                                                                               |                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Диапазон измерения параметров шероховатости $R_{max}$ , $R_z$ и толщины пленок, мкм                                                           | 0,1 – 0,8                                                         |
| Увеличение микроскопа, крат.:<br>– при визуальном наблюдении с винтовым окулярным микрометром МОВ-1-15 <sup>x</sup><br>– при фотографировании | 490 <sup>x</sup><br>260 <sup>x</sup>                              |
| Линейное поле зрения в плоскости предмета, мм<br>– при визуальном наблюдении<br>– при фотографировании                                        | 0,32<br>0,08x0,12                                                 |
| Пределы перемещения предметного столика в двух взаимно перпендикулярных направлениях, мм                                                      | 0 – 10                                                            |
| Цена деления шкал барабанов микрометрических винтов столика, мм                                                                               | 0,005                                                             |
| Пределы перемещения интерференционной головки по вертикали для фокусировки, мм                                                                | ±1,5                                                              |
| Цена деления шкалы барабана микрометрического винта для фокусировки, мм                                                                       | 0,003                                                             |
| Источник света                                                                                                                                | лампа накаливания<br>ОП8-9 (8V, 9W)                               |
| Источник питания                                                                                                                              | блок питания 9V, 25W<br>от сети переменного тока напряжением 220V |
| Габаритные размеры, не более, мм                                                                                                              | 340x370x380                                                       |
| Масса, не более, кг                                                                                                                           | 24                                                                |

### ***1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора***

Настройка прибора производится в следующей последовательности.

1. Измеряемую деталь установить на предметный столик 4 исследуемой поверхностью вниз.

2. Включить свет, нить лампочки установить так, чтобы ее изображение было резко видно в зрачке объектива. Изображение нити лампочки и зрачок объектива хорошо видны при вынутом окуляре. Винтами 12 центрировать изображение нити по отношению к зрачку объектива при полностью открытой апертурной диафрагме.

3. Получить интерференционную картину.

Вставить в тубус окуляр. Повернуть рукоятку 16 так, чтобы указатель

(стрелка) стоял на ней вертикально, и при помощи микровинта 10 сфокусировать микроинтерферометр на контролируемую поверхность. Затем поворотом рукоятки 16 включить объективную головку (стрелка на рукоятке горизонтальна), при этом в поле зрения должны быть видны интерференционные полосы (рис. Л9.2). При помощи микровинта 10 добиться резкого изображения полос и контролируемой поверхности.

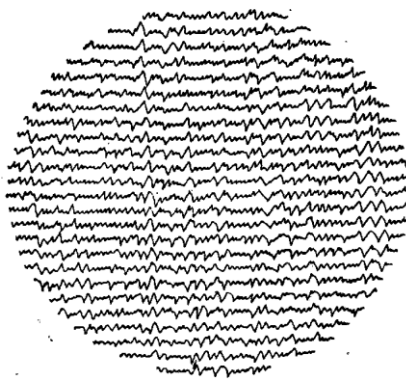


Рисунок Л9.2 – Интерференционная картина

Если при резкой фокусировке на объект наиболее резкие и контрастные интерференционные полосы получились не в центре поля зрения, то отвернуть контргайку 17 и, вращая винт 15, привести полосы в центр поля зрения. Затем проверить фокусировку на испытуемой поверхности и закрепить винт 15 контргайкой 17. Винтом 15 и контргайкой 17 разрешается пользоваться только в случае, описанном выше.

Для получения большей контрастности полос рекомендуется уменьшить отверстия апертурной диафрагмы поворотом кольца.

4. Необходимый для работы интервал между полосами установить вращением головки винта вокруг его оси. Затем поворотом винта 14 вокруг оси объективной головки необходимо установить интерференционные полосы перпендикулярно к штрихам на испытуемой поверхности. Для работы с монохроматическим светом следует до упора переместить направляющую 8, чтобы включился один из светофильтров.

5. При измерении микронеровностей при помощи винтового окулярного микрометра последний надеть на тубус до упора, повернуть таким образом, чтобы одна из нитей перекрестия была параллельна интерференционным полосам, и закрепить.

Для измерения высоты микронеровностей  $R_z$  нить перекрестия навести на край полосы и снять отсчет по барабану окулярного микрометра  $N_1$  (рис. Л9.3), затем нить перекрестия навести на край рядом лежащей полосы и снова снять отсчет по барабану окулярного микрометра  $N_2$ . Разность  $(N_2 - N_1)$  характеризует расстояние между двумя интерференционными полосами  $b$  и определяет цену деления барабана окулярного микрометра  $K$ :

$$K = \frac{\lambda}{2b},$$

где  $\lambda$  – длина световой волны для данного прибора.

Затем нить перекрестия установить на край наибольшего изгиба второй интерференционной полосы и снять отсчет  $N_3$ . Высота отдельных неровностей  $a = N_3 - N_2$ .

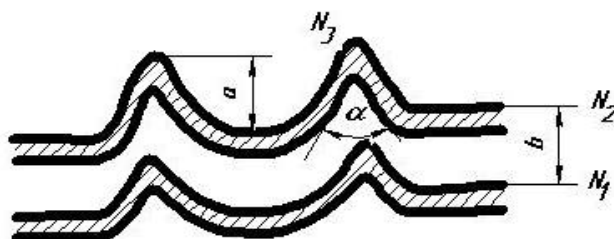


Рисунок Л9.3 – Величина искривления интерференционной полосы  $a$  по отношению к интервалу полос  $b$

Величину искривления  $R_i$  интерференционной полосы  $a$  по отношению к интервалу полос  $b$  можно определить по формуле

$$R_i = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{N_3 - N_2}{N_2 - N_1} \cdot \frac{\lambda}{2}.$$

Значение длины волны берется по паспорту прибора. Обычно при зеленом светофильтре  $\lambda = 0,559$  мкм, при желтом  $\lambda = 0,591$  мкм.

Наибольшая высота профиля (параметр  $R_z$ ) – это сумма высоты наибольшего выступа профиля  $R_p$  и глубины наибольшей впадины профиля  $R_v$  в пределах базовой длины  $l$ .

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить интерференционный метод оценки шероховатости поверхностей.
2. Изучить назначение и конструкцию микроинтерферометра МИИ-4.
3. Измерить параметр шероховатости  $R_z$ .
4. Сделать заключение о годности детали.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип действия микроинтерферометра МИИ-4.
2. Технические характеристики измерительного средства занести в табл. Л9.2.

Таблица Л9.2 – Технические характеристики средства измерения

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Наименование прибора              |  |
| Пределы измерения параметра $R_z$ |  |
| Общее увеличение прибора          |  |
| Принцип действия прибора          |  |
| Погрешность измерений             |  |

3. Произвести измерения. Результаты измерения занести в табл. Л9.3.

Таблица Л9.3 – Результаты измерения

| № измерения | $N_1$ | $N_2$ | $N_3$ | $R_i$ | $R_z$ , мкм |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| 1           |       |       |       |       |             |
| 2           |       |       |       |       |             |
| 3           |       |       |       |       |             |
| 4           |       |       |       |       |             |
| 5           |       |       |       |       |             |

4. Сделать заключение о годности детали.

5. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое шероховатость поверхности?
2. Как шероховатость поверхности влияет на эксплуатационные свойства деталей, узлов и изделий машиностроения?
3. Назовите нормируемые параметры шероховатости и их определение?
4. Что понимается под приемочным и периодическим контролем качества поверхности?
5. Что такое качественный и количественный контроль шероховатости поверхности?
6. Какие принципы действия бесконтактных средств измерения шероховатости поверхности вы знаете?
7. В чем заключается принцип действия контактных средств измерения шероховатости поверхности?
8. В каких случаях применяется метод слепков?
9. Для чего используют образцы шероховатости?
10. Как обозначаются требования к шероховатости поверхности на чертежах?
11. Как измеряется параметр шероховатости  $R_z$  на интерференционном микроскопе МИИ-4?

### 3. КОНТРОЛЬ УГЛОВ И КОНУСОВ

#### 3.1. Нормирование точности углов

Самой распространенной системой измерения углов является градусная, основанная на древней шестидесятеричной системе счисления, единицы которой – градус ( $^{\circ}$ ), минута ( $'$ ) и секунда ( $''$ ).

В современном машиностроении используют дополнительную угловую единицу – радиан. Углом в один радиан называют плоский угол между двумя радиусами круга, вырезающий из окружности дугу, длина которой равна радиусу этого круга. Радианная система измерения углов очень удобна в расчетах, но её применение при изготовлении и контроле изделий затруднительно, так как отсутствуют приборы, проградуированные в радианах.

Для угловых размеров, так же как и линейных, существуют ряды нормальных углов, которые устанавливает [ГОСТ 8908 – 81](#) (табл. Б.1 прил. Б). Однако в отношении углов это понятие используется значительно реже, поскольку при разработке элементов деталей с угловыми размерами значение угла часто получается либо расчетным путем для обеспечения определенных функций разрабатываемой конструкции механизма, либо определяется необходимым расположением функциональных узлов. Поэтому для угловых размеров реже приходится пользоваться понятием нормального угла.

В отношении угловых размеров также используется понятие допуска, аналогичное допуску на линейный размер.

Допуском угла (рис. 3.1) называется разность между наибольшим и наименьшим предельными допускаемыми углами. Допуск угла обозначается  $AT$  (сокращение от английского выражения Angle Tolerance – угловой допуск).

При нормировании точности угловых размеров не применяется понятие «отклонение», а предусматривается, что допуск может быть расположен по-разному относительно номинального значения угла, принимаемого за нулевую линию. Допуск может быть расположен в плюсовую сторону от номинального угла ( $+AT$ ), или в минусовую ( $-AT$ ), или же симметрично относительно него ( $\pm AT / 2$ ). Естественно, что в первом случае нижнее, а во втором случае верхнее отклонения равны нулю, т. е. соответствуют случаям отклонений как для основного отверстия и основного вала при нормировании точности линейных размеров.

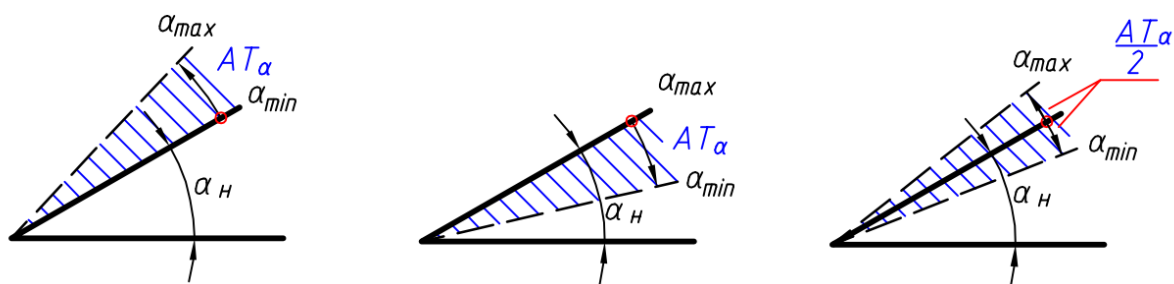


Рисунок 3.1 – Расположение допуска на угловые размеры относительно номинального значения угла:  
 $\alpha$  – номинальный угол

Особенность изготовления и измерения угловых размеров заключается в том, что точность угла в значительной мере зависит от длины сторон, образующих этот угол. При нормировании требований к точности значение допуска угла задается в зависимости от длины меньшей стороны, образующей угол, а не от значения номинального угла.

С учетом того, что значение угла можно выразить разными способами, значения допуска выражается по-разному (ГОСТ 8908 – 81) и используется соответствующее обозначение (рис. 3.2):

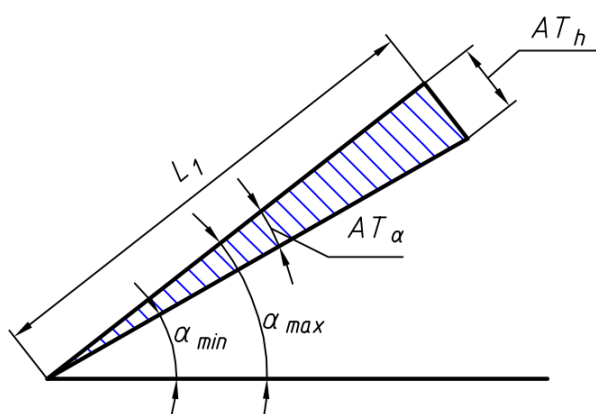


Рисунок 3.2 – Способы задания допуска на угловые размеры

$AT_\alpha$  – допуск, выраженный в радианной мере, и соответствующее ему точное значение в градусной мере;

$AT'_\alpha$  – допуск, выраженный в градусной мере, но с округленным значением по сравнению с радианным выражением;

$AT_h$  – допуск, выраженный в линейной мере длиной отрезка на перпендикуляре к концу меньшей стороны угла.

Связь между допусками в угловых и линейных единицах выражается зависимостью:

$$AT_h = AT_\alpha \cdot L_1 \cdot 10^{-3},$$

где  $AT_h$  – измеряется в мкм,  $AT_\alpha$  – в мкрад;  $L_1$  – длина меньшей стороны угла, мм.

Этой формулой можно пользоваться и при пересчете отклонений угла в радианной мере к значениям угла в линейной мере.

В ГОСТ 8908 – 81 установлены 17 рядов точности, названных степенями точности (с 1 по 17). Обозначение точности производится указанием условного обозначения допуска на угол и степени точности, например,  $AT5$ ,  $AT7$ . Допуски углов должны соответствовать указанным в табл. Б.2 прил. Б.

### 3.2. Нормирование точности конусов

#### 3.2. Нормирование точности конусов

Термины и определения понятий в области конусов и конических соединений устанавливает ГОСТ 25548 – 82.

Размеры конусов могут задаваться различными способами. Конические поверхности характеризуются четырьмя основными параметрами ( $D$ ,  $d$ ,  $L$  и  $\alpha$ ), три из которых независимые, а четвертый можно вычислить (рис. 3.3).

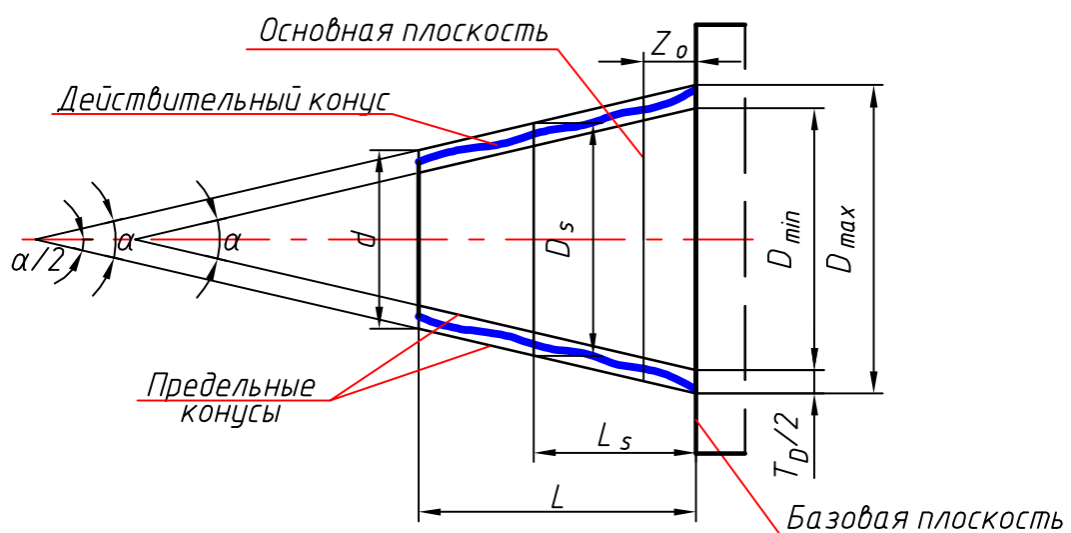


Рисунок 3.3 – Геометрические параметры конического элемента детали

Линейные размеры задаются диаметром большого основания  $D$ , диаметром малого основания  $d$  и длиной конуса  $L$ , под которой обычно понимается расстояние между основаниями усеченного конуса.

Угловые размеры конуса могут указываться несколькими вариантами. Угол конуса  $\alpha$  – угол между образующими конуса в сечении конуса плоскостью, проходящей через ось конуса.

Часто вместо угла конуса указывается угол наклона  $\alpha/2$ , т.е. угол между образующей и осью конуса. Углы конуса и уклона задаются в градусной мере.

Допуск угла конуса – это разность между наибольшим и наименьшим предельными (допускаемыми) углами конуса.

Допуск угла конуса может быть выражен в угловых единицах  $AT_\alpha$

или линейных единицах  $TD$  (рис. 3.3). При этом  $TD$  – допуск, относящийся только к углу конуса и выраженный в линейной мере как разность диаметров на заданном расстоянии между сечениями конуса плоскостями, перпендикулярными к оси конуса.

Допуски формы конуса – круглости ( $T_{FR}$ ) и прямолинейности образующих ( $T_{FL}$ ) – ограничивают отклонения формы поперечного (рис. 3.4) и отдельно продольного сечений конуса (рис. 3.5).

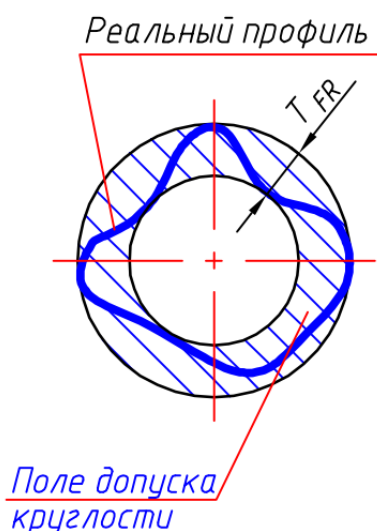


Рисунок 3.4 – Допуск круглости поперечного сечения конуса

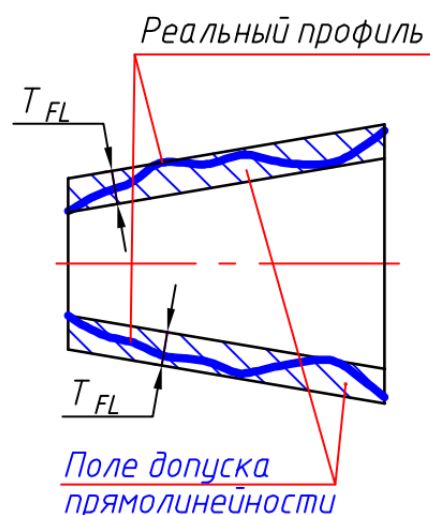


Рисунок 3.5 – Допуск прямолинейности образующей конуса

Для конусов допуск задается чаще всего в зависимости от длины образующей. Когда угол конуса небольшой (конусность не более 1:3), допуск задается в зависимости от длины конуса.

Для стандартизованных конических соединений размеры конуса указывают чаще всего через понятие "конусность".

*Конусность  $C$*  – отношение разности диаметров большого и малого основания к длине конуса, т.е.

$$C = (D - d) / L = 2 \operatorname{tg}(\alpha / 2).$$

Конусность может быть задана и как отношение разности диаметров любых двух поперечных сечений к расстоянию между этими сечениями.

Размеры конических поверхностей деталей должны соответствовать одному из рядов нормальных конусностей общего назначения по ГОСТ Р 53440 – 2009 (табл. Б.3 прил. Б).

Помимо конусностей общего назначения допускается применение конусностей специального назначения [5]. К ним, например, относятся кону-

сы инструментальные (ГОСТ 25557 – 2016, табл. Б.4 прил. Б):

- 1) инструментальные конусы Морзе 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6;
- 2) конусы инструментов при размерах меньше Морзе 1 с конусностью 1:24;
- 3) метрические конусы 4; 6; 80; 100; 120; 160; 200;
- 4) инструментальные укороченные В7; В10; В12; В16; В18; В22; В24; В32; В45;
- 5) конусы шпинделей и оправок фрезерных станков (конусность 7:24).

Как видно, конусность может указываться в виде отношения типа 1:Х, где Х – расстояние между поперечными сечениями конуса, разность диаметров которых равна 1 мм. Это сделано для того, чтобы выражать конусность отношением целых чисел, а также для удобства измерения. Например, для метрических конусов, у которых угол конуса равен  $2^{\circ}51'51,1''$ , конусность выражается как 1:20, т.е. два сечения с разностью диаметров 1 мм отстоят друг от друга на 20 мм.

В современных станках с ЧПУ используются конусы, которые обозначаются как 7:24. Это обозначение является как бы некоторым исключением из указанного выше правила, но и в этом случае используется выражение конусности отношением целых чисел. Запись 7:24 означает, что на длине конуса в 24 мм вдоль оси разность диаметров составляет 7 мм, а не 1 мм, как обычно указывается. Такое обозначение сделано опять же для того, чтобы использовать целые числа, так как угол для этих конусов равен  $16^{\circ}35'40''$ .

В машиностроении широко применяются конусы под названием "конус Морзе" с номерами от 0 до 6. Наибольшие диаметры у этих конусов приблизительно от 9 мм (Морзе 0) до 60 мм (Морзе 6), а углы конуса, хотя и не одинаковы у всех номеров конусов, но близки к углу  $3^{\circ}$ .

Конические соединения по сравнению с цилиндрическими имеют ряд преимуществ и в некоторых случаях являются незаменимыми. Они могут быть подвижными, неподвижными и плотными.

Конические соединения используют для обеспечения сопряжений, при которых требуется частая разборка и сборка при хорошем центрировании сопрягаемых деталей. Типичным случаем наиболее частого применения конусов является установка режущего инструмента в шпинделе металлорежущих станков.

Условные обозначения параметров, относящихся к внутренним конусам, дополняются индексом  $i$ , а к наружным – индексом  $e$ .

*Основная плоскость* – плоскость поперечного сечения конуса, в которой задается номинальный диаметр конуса (рис. 3.3).

*Базовая плоскость* – плоскость перпендикулярная оси конуса и служащая для определения осевого положения основной плоскости или осевого положения данного конуса относительно сопрягаемого с ним конуса.

К номинальным размерам конусов и их соединений относятся:

- диаметры большого  $D$  и малого  $d$  оснований;
- диаметры в заданном ( $D_s$ ) поперечном сечении (сечением с диаметром  $D_s$  обычно является сечение, в котором задан допуск конуса);
- длина конуса  $L$  и соединения  $L_p$ ;
- осевое расстояние от большого основания до заданного сечения  $L_s$ ;
- угол конуса  $\alpha$  – угол между образующими в продольном сечении конуса;
- угол уклона  $\alpha / 2$  (угол между образующей конуса и его осью);
- конусность  $C$ .

Конусность наиболее полно характеризует эксплуатационные и конструктивные особенности конического соединения. С уменьшением конусности повышается точность центрирования деталей и нагрузочная способность сопряжения, но увеличивается давление на боковую поверхность соединения и осевые перемещения деталей при регулировании зазора или натяга в соединении.

*Базорасстояние конусов* – расстояние между основной и базовой плоскостями. Если эти плоскости совпадают, то базорасстояние равно нулю. Базорасстояние соединения  $Z_p$  – осевое расстояние между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов.

Реальный конус и реальные или действительные размеры обозначаются теми же символами, что и номинальные размеры, но с добавлением индекса  $a$ .

Допуски конусов нормируют двумя способами:

- 1) совместным нормированием всех видов допусков – допуском  $T_D$ ;
- 2) раздельным установлением каждого вида допусков:  $T_{DS}$ ;  $AT$  в угловых или линейных единицах;  $T_{FR}$  и  $T_{FL}$ .

*Допуск  $T_D$*  – допуск диаметра конуса, разность между предельными наибольшим и наименьшим диаметрами конуса в одном и том же поперечном сечении, которая является постоянной для любого поперечного сечения в пределах длины конуса (рис. 3.3). Допуск  $T_D$  определяет поле допуска конуса, в пределах которого должны находиться все точки реальной поверхности конуса, и ограничивает все его отклонения, если на отклонение угла, отклонения от круглости и прямолинейности образующих не установлены отдельно меньшие допуски.

Допуск  $T_{DS}$  ограничивает только отклонения диаметра конуса в поперечном сечении, имеющем заданное осевое положение. Допуски  $T_D$  и  $T_{DS}$

назначают по квалитетам ГОСТ 25346 – 2013, т. е.  $T_D = IT$  и  $T_{DS} = IT$ .

Допуски формы конуса – круглости ( $T_{FR}$ ) и прямолинейности образующих ( $T_{FL}$ ) – ограничивают отклонения формы поперечного и отдельно продольного сечений конуса (ГОСТ Р 53442 – 2015).

Осевой допуск конуса  $T_z$  (наружного –  $T_{ze}$ , внутреннего –  $T_{zi}$ ) равен разности между верхними и нижними осевыми отклонениями конуса (рис. 3.6).

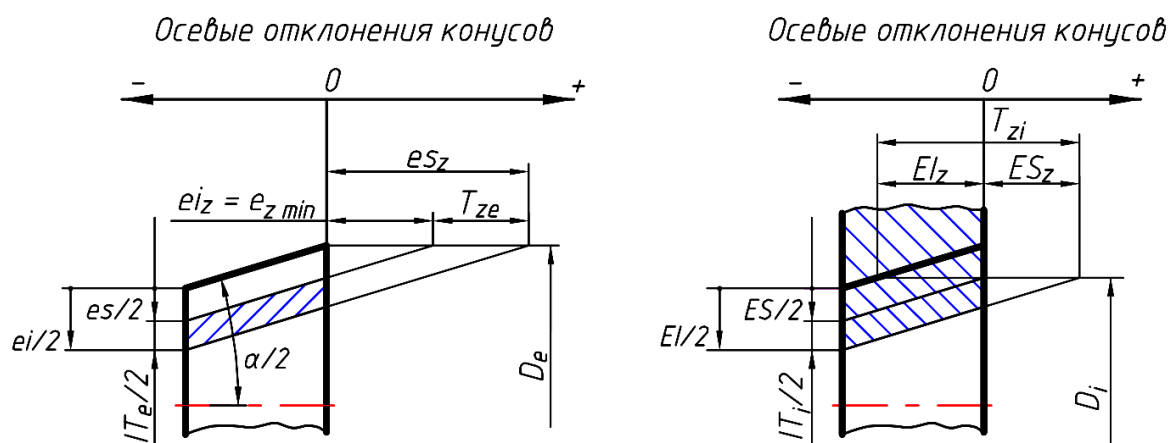


Рисунок 3.6 – Осевые допуски конусов

Осевое отклонение конуса – осевое расстояние между основной плоскостью и плоскостью поперечного сечения рассматриваемого конуса (реального, предельного), в котором его диаметр равен номинальному диаметру конуса в основной плоскости. Положительные осевые отклонения конуса отсчитывают от основной плоскости в сторону, противоположную от вершины конуса, а отрицательные – от основной плоскости к вершине конуса.

Осевые отклонения конуса: верхние ( $e_{s_z}$  – наружного и  $ES_z$  – внутреннего) – осевые отклонения наибольших предельных конусов, определяющиеся нижними отклонениями диаметров конусов (наружного  $ei$  и внутреннего  $EI$ ) в основной плоскости; нижние ( $ei_z$  – наружного и  $EI_z$  – внутреннего конусов) – осевые отклонения наибольших предельных конусов, определяющиеся верхними отклонениями диаметров конусов (наружного  $es$  и внутреннего  $ES$ ) в основной плоскости.

Основное осевое отклонение конуса ( $ei_{zmin}$  – наружного,  $EI_{zmin}$  – внутреннего) вычисляют по основному отклонению поля допуска конуса в основной плоскости (это частное от деления основного отклонения диаметра конуса на конусность  $C$  со знаком минус).

Осевые отклонения конусов и осевые допуски конусов и их соедине-

ний всех видов зависят от диаметральных отклонений и допусков конусов. Очевидно, что  $tg(\alpha / 2) = (ei / 2) / es_z$  (рис. 3.6). Так как  $tg(\alpha / 2) = C$ , то  $es_z = ei / C$ . Аналогично получаем формулу для определения всех предельных осевых отклонений конусов:  $ES_z(es_z) = EI(ei) / C$ ,  $EI_z(ei_z) = ES(es) / C$  и их осевых допусков  $T_{ze} = IT_e / C$ ;  $T_{zi} = IT_i / C$ .

Для конических соединений предназначены следующие классы допусков (по ГОСТ 25307 – 82):

– для внутренних конусов – *H01...H17* (для посадок – *H4...H9*); *JS01...JS17*; *N9...N12*;

– для наружных конусов – *d8, d9; e7...e9; f6...f9; g4...g6; h01...h17* (для посадок – *h4...h9*); *js01...js17* (для посадок – *js4...js7*); *k4...k12* (для посадок – *k4...k7*); *m4...m7; n4...n7; p5, p6; r5, r6; s5...s7; t6; u7, u8; x8, z8*.

### 3.3. Средства измерения и контроля углов и конусов

Углы изделий измеряют тремя основными методами: методом сравнения с жесткими контрольными средствами (угловыми мерами, угольниками, конусными калибрами и шаблонами), абсолютным гониометрическим методом (с использованием приборов с угломерной шкалой) и косвенным тригонометрическим методом, который заключается в определении линейных размеров, связанных с измеряемым углом тригонометрической функцией. Методы и средства контроля инструментальных конусов должны соответствовать [ГОСТ 2848 – 75](#).

**Угловые призматические меры** ([ГОСТ 2875 – 88](#)) являются наиболее точным средством измерения углов в машиностроении. Они применяются для передачи размера единицы плоского угла от эталонов к образцовым угловым мерам и от образцовых мер к рабочим угловым мерам, для поверки и градуировки приборов, предназначенных для измерения углов, а также для непосредственного измерения углов изделий.

Конструкции однозначных и многозначных угловых мер показаны на рис. 3.7.

Рабочие углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  мер заключаются между смежными измерительными поверхностями у угловых плиток – мер типа I, II и III; между нормальными к измерительным поверхностям у угловых призм – мер типа IV; между рабочими гранями и основанием у мер типа V. Число граней угловых призм может быть  $n = 4...15$  (рис. 3.7, а).

Измерительные поверхности угловых плиток обладают свойством притираемости. Плитки комплектуют в наборы. Угловые меры можно применять как отдельно, так и в виде блоков, составленных из нескольких мер. Порядок составления блоков плиток такой же, как у концевых мер длины. У кромок рабочих поверхностей плиток имеются отверстия, через которые с помощью набора принадлежностей плитки соединяются в блоки.

Проверку углов изделий с помощью угловых мер осуществляют двумя способами.

Первый способ аналогичен способу использования концевых мер длины. Меру прикладывают к одной стороне угла изделия и оценивают степень совпадения по другой стороне методом «на просвет» путем сравнения с «образцом просвета» (рис. 3.7, б), который состоит из концевых мер длины, притертых к стеклянной пластине и накрытых лекальной линейкой. При хорошей освещенности и определенном навыке просвет размером 4 мкм можно оценить с погрешностью  $\approx 1$  мкм, погрешность измерения угла при этом  $\approx 15''$ . Бесконтактные измерения угловыми мерами выполняются на автоколлимационных приборах.

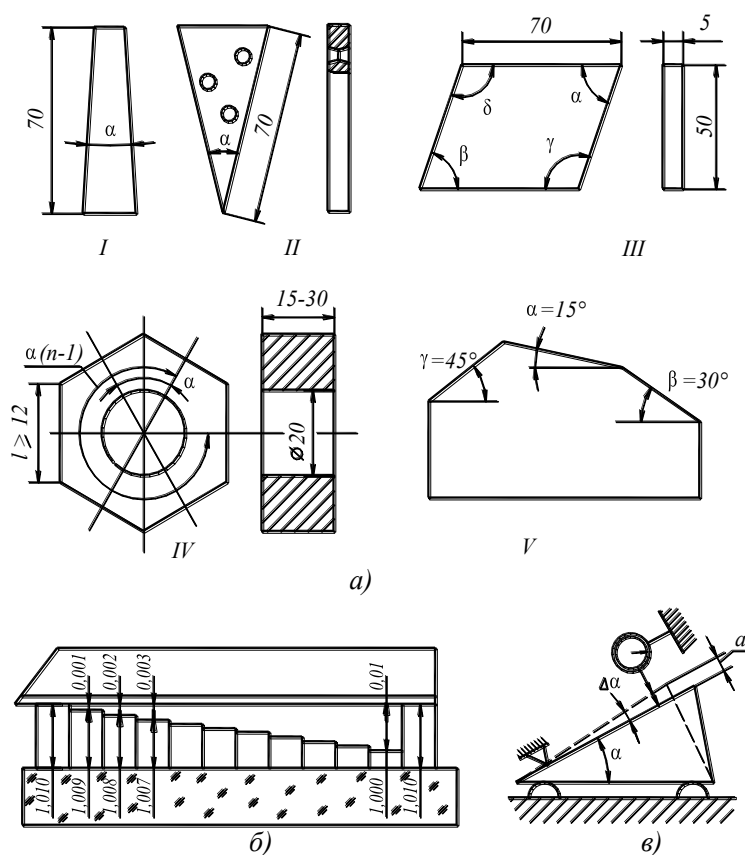


Рисунок 3.7 – Угловые призматические меры

При втором способе угловую меру используют в качестве меры сравнения с контролируемым углом изделия. Отклонение угла  $\Delta\alpha$  изделия от меры определяют с помощью измерительной головки (рис. 3.7, в), при этом линейные показания  $a$  головки пересчитывают в угловые по формуле  $\Delta\alpha = a/l$ , где  $l$  – расстояние от головки до вершины угла.

Угловые меры выпускаются трех классов точности 0, 1, 2. Многогранные призмы могут иметь также класс 00. Предельные погрешности уг-

ловых мер типов I, II, III составляют  $\pm 3''$  для класса 0,  $\pm 10''$  для класса 1 и  $\pm 30''$  для класса 2. Соответственно, погрешности углов многогранных призм равны  $\pm 2''$ ,  $\pm 5''$ ,  $\pm 10''$  и  $\pm 30''$ . Меры типа V используются для проверки синусных линеек и выпускаются класса точности 1 (погрешность  $\pm 10''$ ).

Для образцовых угловых мер установлены четыре разряда. Предельные погрешности углов у мер 1-го разряда равны  $\pm 0,3''$ , 2-го разряда  $\pm 1''$ , 3-го разряда  $\pm 3''$  и 4-го разряда  $\pm 6''$ .

**Угольники поверочные 90° (ГОСТ 3749 – 77)** предназначены для проверки и разметки прямых углов изделий, для контроля изделий при сборке или монтаже, их часто используют для измерения перпендикулярности одновременно с прямолинейностью перемещения узлов относительно каких-либо поверхностей. Угольники выпускаются трех классов точности 0, 1 и 2. При контроле опорная поверхность угольника плотно без зазора прижимается к поверхности изделия. По величине зазора между измерительной поверхностью и поверхностью изделия определяют отклонение от прямого угла. Зазор определяют щупом или методом «на просвет», используя «образец просвета».

**Конусные калибры** – калибры-пробки и калибры-втулки относятся к группе нормальных калибров. Они применяются для контроля диаметральных размеров и комплексного контроля отклонений угловых размеров и формы наружных и внутренних конических поверхностей с допусками диаметров от  $IT4$  до  $IT12$  и степенями точности допусков углов конусов от  $AT4$  до  $AT9$  (ГОСТ 24932 – 81). Существуют два способа использования конусных калибров – контроль базорасстояния и комплексный контроль.

При контроле базорасстояния (рис. 3.8) торец годного внутреннего конуса 1 должен находиться между рисками 2, нанесенными на поверхности калибров-пробок 3 и расположенными друг относительно друга на расстоянии, равном допуску базорасстояния  $Z$ . Торец годного наружного конуса должен находиться между контрольными плоскостями уступа калибров-втулок 4. Расстояние между контрольными плоскостями также равно допуску базорасстояния  $Z$ .

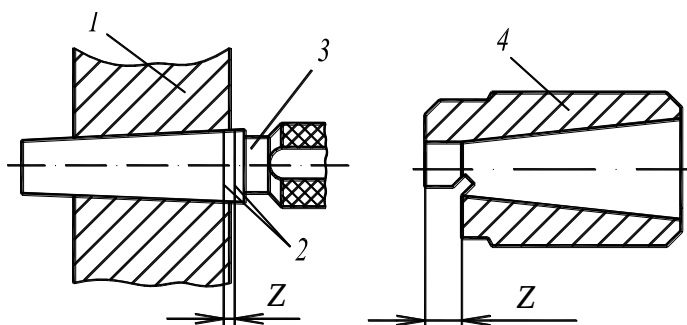


Рисунок 3.8 – Конусные калибры

При комплексном контроле на краску проверяется полнота прилегания сопрягаемых поверхностей. Краску наносят на предварительно очищенную наружную поверхность слоем толщиной 2...5 мкм. Толщину слоя краски определяют по «образцу интенсивности окраски». Калибр сопрягают с конусом и поворачивают не более чем на 3/4 оборота при нажатии вдоль оси. У годных конусов пятно контакта без круговых разрывов располагается со стороны большего диаметра и составляет не менее 90% площади.

К **приборам с угломерной шкалой** измерительные средства с угломерной шкалой, которая в принципе представляет собой многозначную угловую меру. Когда эта мера имеет диапазон  $360^\circ$  (замкнутая шкала), ее чаще всего называют лимбом. Типичными и наиболее известными приборами являются угломеры с нониусом, оптические угломеры, гониометры, оптические делительные головки, уровни и др.

**Угломером** называется накладной прибор для измерения углов, в котором отсчет угла по шкале производят с помощью нониуса (ГОСТ 5378 – 88). Конструкции угломеров рассмотрены подробно в лабораторной работе №10, они зависят от пределов измерения (до  $180^\circ$  или  $360^\circ$ ), от возможности измерения внутренних и наружных углов. Обычно они имеют цену деления нониуса 2', 5' или 10'. Допускаемые погрешности угломеров равны цене деления нониуса.

**Оптический угломер** предназначен для измерения углов  $0...180^\circ$  контактным методом между двумя плоскостями или между плоскостью и образующей цилиндра (рис. 3.9).

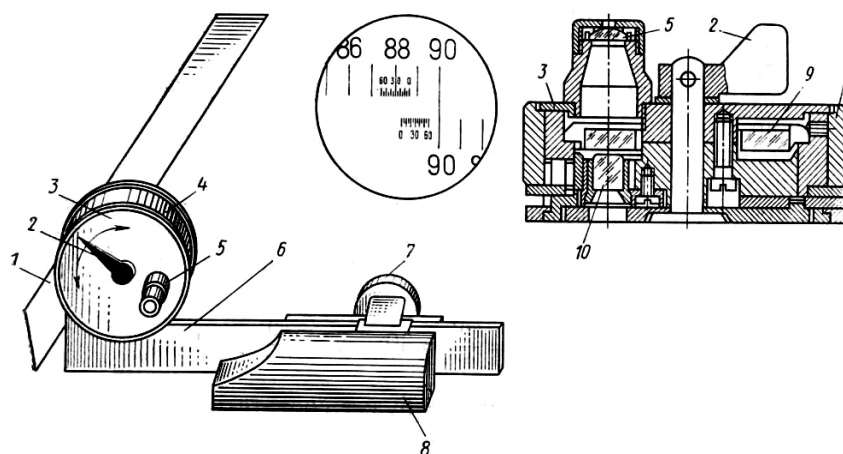


Рисунок 3.9 – Оптический угломер

Угломер имеет цилиндрический корпус, с которым жестко скреплена линейка 6 со сквозным продольным пазом. Сменная линейка 1 может поворачиваться относительно линейки 6 и перемещаться в продольном направлении. При больших углах поворота конец линейки 1 входит в паз ли-

нейки 6. На верхней крышке 3 установлена отсчетная лупа 5 с увеличением  $16\times$ . Линейка 1 может быть зафиксирована в продольном направлении поворотом рычага 2. Установленный угол линейки 1 фиксируется поворотом накатанного кольца 4. Прилагаемая к угломеру съемная подставка 8 имеет плоскую и призматическую рабочие поверхности. Подставка фиксируется винтом 7.

Шкала угломера нанесена на стеклянной пластине 9 и состоит из четырех секторов по  $90^\circ$ , с ценой деления  $1^\circ$ , оцифрованных от 0 до  $90^\circ$  через  $2^\circ$ .

На стекле 10 нанесены прямая и обратная минутные шкалы с ценой деления  $5'$ . В поле зрения лупы 5 одновременно видны обе минутные шкалы и часть градусной шкалы, освещенных через стекло 10. Отсчет целого числа градусов производится по делению шкалы, находящемуся в пределах минутной шкалы, отсчет минут производится по минутной шкале относительно штриха градусной шкалы. На рис. 3.9 отсчет равен  $88^\circ 30'$ .

При измерении углов отпускают зажимное кольцо 4 и прижимают рабочие грани линеек к плоскостям, образующим измеряемый угол, после чего кольцом 4 фиксируют установленный угол и производят отсчет в лупу 5.

Погрешность показаний оптических угломеров с ценой деления  $5'$  не должна превышать  $2,5'$  при поверке без подставки и  $5'$  при поверке с подставкой.

**Гониометром** называется оптико-механический прибор для измерения углов, образованных плоскими поверхностями, способными отражать световые лучи. Они используются в основном для аттестации призматических угловых мер, угловых призм из стекла и металла. Принцип измерения на гониометре заключается в том, что осуществляют последовательную фиксацию положения плоских поверхностей измеряемого угла и при каждой фиксации отсчитывают значение угла по лимбу гониометра. Обычно используют два способа измерения – коллимационный (рис. 3.10, а) и автоколлимационный (рис. 3.10, б).

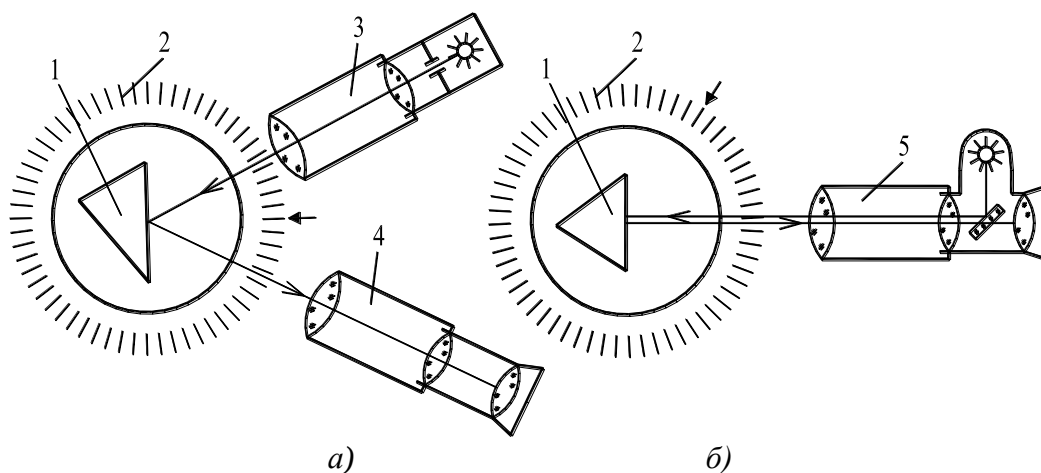


Рисунок 3.10 – Измерение углов на гониометре

При коллимационном способе измерения деталь **1** с измеряемым углом устанавливают на предметный столик, соосно которому в приборе расположен лимб **2**. Столик вместе с деталью поворачивают до такого положения, чтобы луч света из коллиматора **3** отразился от плоской поверхности детали **1** и попал в объектив зрительной трубы **4**.

Изображение щели коллиматора совмещают с вертикальной линией окулярной сетки трубы и производят первый отсчет по лимбу **2** гониометра. После этого столик с деталью поворачивают до момента отражения пучка света из коллиматора в трубу от другой грани измеряемого угла и производят второй отсчет. Разность отсчетов равна дополнительному измеряемому углу, т.е.  $\alpha = 180 - \beta$ , где  $\alpha$  – измеряемый угол,  $\beta$  – разность значений угла, полученная двумя отсчетами.

При автоколлимационном способе измерения осуществляют с помощью автоколлиматора **5**. Световые лучи от марки автоколлиматора параллельным пучком попадают на поверхность детали **1** и, отразившись (поверхность угла должна быть перпендикулярна оптической оси), дают изображение в плоскости окулярной сетки. После совмещения изображения марки с вертикальной линией окулярной сетки производят первый отсчет по лимбу **2** гониометра. После поворота столика с деталью до отражения света от второй поверхности угла производят второй отсчет. Значение угла определяют, как и при первом способе измерения.

Гониометры изготавливают с ценой деления 1", 2", 5", 10", 30". Допускаемая погрешность гониометров составляет не более цены деления.

**Оптические делительные головки.** Оптической делительной головкой называется оптико-механический прибор для измерения и разметки углов у деталей, устанавливаемых в центрах. Она позволяет измерять углы поворота шпинделя относительно своей оси или поворота корпуса головки относительно горизонтали. Оптические делительные головки применяют также в качестве приспособления на фрезерных, шлифовальных и других станках, когда требуется сообщить обрабатываемой детали точный угол поворота. Оптические делительные головки изготавливают с ценой деления шкалы  $C = 1''; 2''; 5''$  и  $20''$ . Допускаемая погрешность измерений  $\Delta\alpha = \pm(C + \sin \alpha / 2)$ , где  $\alpha$  – измеряемый угол, °.

**Уровни** предназначены для контроля горизонтального и вертикального положения плоских и цилиндрических поверхностей и определения отклонений от этих положений. К основным типам уровней относятся брусковые и рамные (ГОСТ 9392 – 89), с микрометрической подачей ампулы (ГОСТ 11196 – 74), гидростатические и электронные.

Наибольшее распространение получили ампульные уровни, у которых чувствительным элементом является ампула. Ампула уровней (рис. 3.11) представляет собой запаянную цилиндрическую трубку, заполненную

жидкостью так, что внутри трубки остается пузырек воздуха, насыщенный парами этой жидкости, который является указателем. Внутренняя поверхность ампулы имеет бочкообразную форму, поэтому при горизонтальном расположении уровня пузырек занимает верхнее положение. На наружной поверхности ампулы нанесена шкала с интервалом делений 2 мм.

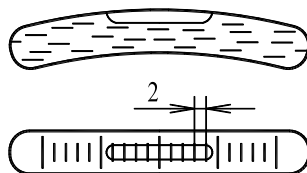


Рисунок 3.11 – Ампула ампульного уровня

При наклоне уровня пузырек перемещается относительно нейтрального положения (нуль-пункта) пропорционально углу наклона. По шкале ампулы измеряют наклон уровня в миллиметрах, отнесенный к длине, равной 1 м. Цена деления ампул уровней составляет 0,02; 0,05; 0,10 и 0,15 мм/м и погрешность не должна превышать соответственно 0,004; 0,007; 0,015 и 0,02 мм/м.

В гидростатических уровнях используется свойство сообщающихся сосудов. Уровень состоит из двух или нескольких измерительных головок, соединенных между собой воздушными и жидкостными гибкими трубопроводами. В процессе измерения одна из измерительных головок располагается в исходной точке измерительной поверхности, а другая головка – в намеченной точке измерения. Вследствие отклонения от прямолинейности контролируемой поверхности уровень жидкости во второй головке изменится. Разность отсчетов по обеим головкам является отклонением от прямолинейности намеченной точки измерения от исходной.

Принцип действия электронных уровней заключается в том, что в корпусе прибора подвешен груз, являющийся якорем индуктивного датчика. При наклоне корпуса якорь занимает постоянное положение, направленное перпендикулярно горизонтальной плоскости, и смещение его относительно катушек, неподвижно закрепленных в корпусе, изменяет индуктивность катушек. Такие уровни изготавливают с ценой деления от 2" до 20". Достоинство таких уровней заключается в дистанционности измерения, в возможности суммирования двух или нескольких показаний, в малых габаритных размерах узла, непосредственно устанавливаемого на измеряемую поверхность.

**Оптические квадранты** – приборы, в которых угломер соединен с уровнем. Они предназначены для измерения углов наклона плоских и цилиндрических поверхностей различных изделий. Квадрант имеет основание и корпус, внутри которого установлен неподвижный лимб, вращаю-

щуюся крышку, на которой укреплены уровень и микроскоп. Для измерения угла наклона к горизонту квадрант устанавливают на поверхность изделия и вращают крышку до тех пор, пока пузырек уровня не займет среднее положение. Для грубого отсчета угла поворота служит шкала на крышке с ценой деления  $5^\circ$ , точные измерения выполняют с помощью микроскопа.

Оптические квадранты выпускают трех типов с ценой деления отсчетного устройства  $2''$ ,  $10''$ ,  $60''$  и имеют допускаемую погрешность при установке на плоскую поверхность, соответственно  $\pm 2''$ ,  $5''$  и  $20''$ . При установке на цилиндрическую поверхность погрешность прибора в 2 раза больше.

**Косвенные измерения углов конусов** можно выполнять универсальными средствами измерений с помощью калиброванных роликов и шариков.

При измерении конусов используют синусную или тангенсную схему в зависимости от того, какие стороны треугольника, образующего угол, будут измерены. При тангенсной схеме измерения наружного конуса (рис. 3.12, а) деталь устанавливают на плите и микрометром измеряют расстояния  $l$  и  $L$  между наружными точками роликов, помещенных на плите и на концевых мерах длиной размером  $h$ . Угол конуса определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = (L - l) / 2h.$$

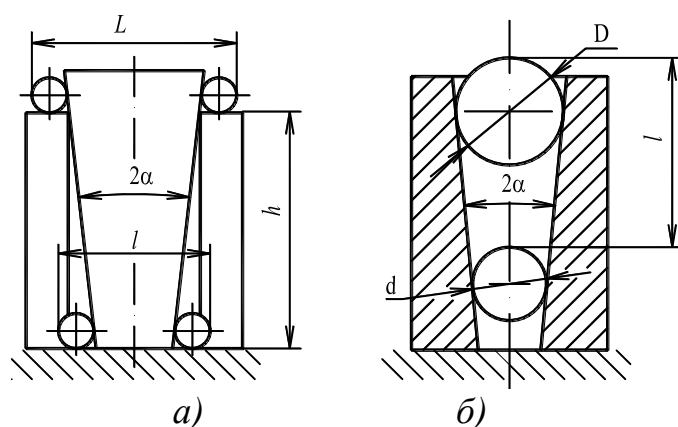


Рисунок 3.12 – Измерение углов косвенным методом

При синусной схеме измерения внутреннего конуса (рис. 3.12, б) в отверстие вводят шарики диаметрами  $d$  и  $D$  и с помощью глубиномера или длиномера находят расстояние  $l$  между верхними точками шариков. Угол конуса находят из выражения

$$\sin \alpha = (D - d) / (2l - D + d).$$

Более подробно процесс измерения внутренних конусов по синусной схеме рассмотрен в лабораторной работе №11.

**Синусные линейки** ([ГОСТ 4046 – 80](#)) для косвенных измерений углов  $0...45^\circ$  выпускают трех типов: ЛС – без опорной плиты с одним наклоном; ЛСО – с опорной плитой с одним наклоном; ЛСД – с опорной плитой с двумя наклонами.

Синусные линейки выпускают классов точности 1 и 2. Допускаемые погрешности при предельном угле измерения  $\alpha=45^\circ$  для линеек типа ЛС класса точности 1 (2) не превышают  $\pm 6''$  ( $\pm 10''$ ), для линеек типа ЛСО –  $\pm 8''$  ( $\pm 12''$ ), для линеек типа ЛСД –  $\pm 10''$  ( $\pm 15''$ ).

Более подробно процесс измерения углов синусной линейкой рассмотрен в лабораторной работе № 12.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ УГЛОМЕРАМИ

**Цель работы:** Изучение принципа действия и конструкции угломера типа 1, приобретение практических навыков измерения наружных углов угломером типа 1.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ*

Для измерения наружных углов от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  и внутренних от  $40^\circ$  до  $180^\circ$  используют угломеры.

ГОСТ 5378 – 88 устанавливает 4 типа угломеров. Типы и основные параметры угломеров должны соответствовать указанным в табл. Л10.1 и на рис. Л10.1.

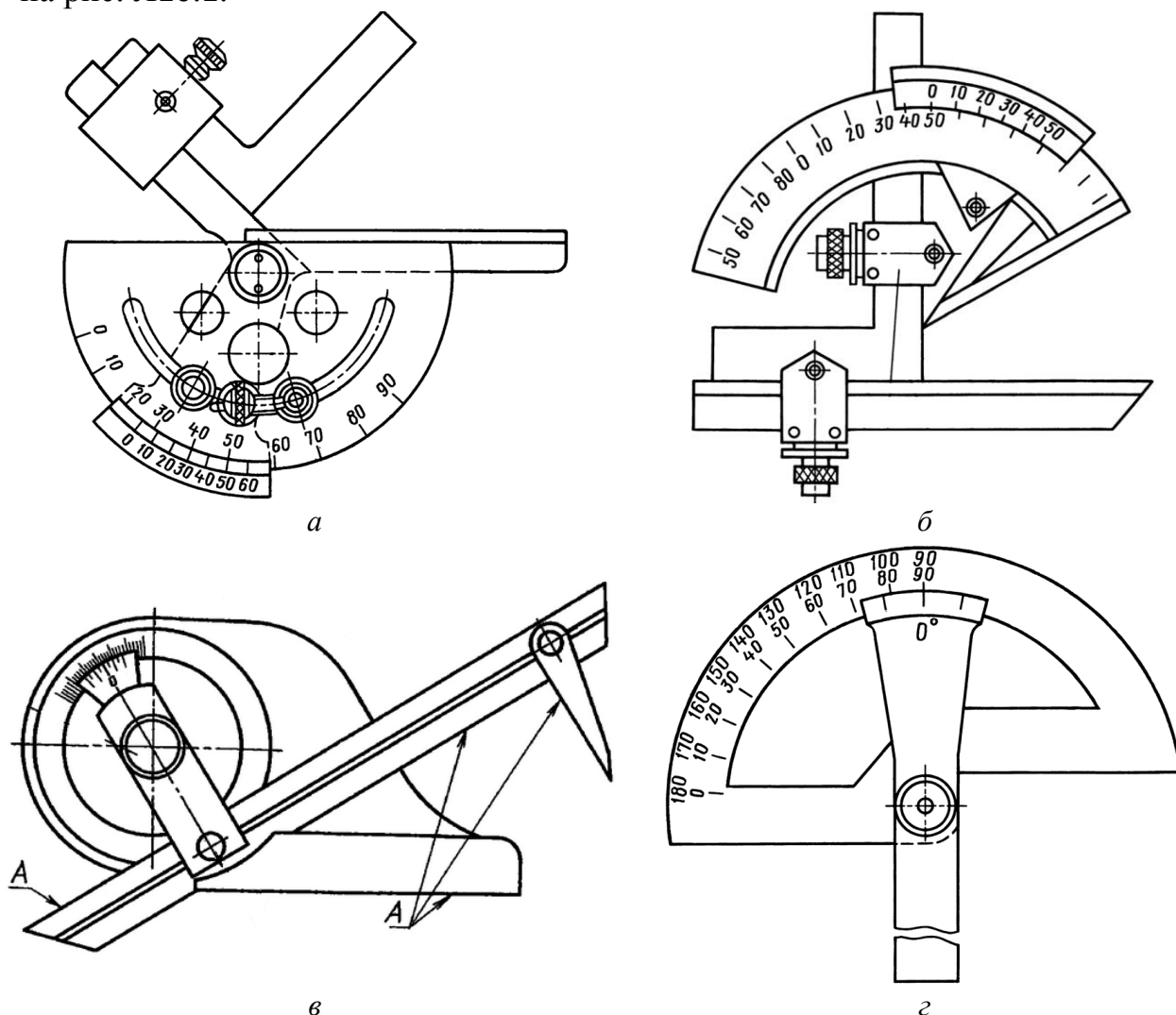


Рисунок Л10.1 – Внешний вид угломеров

Таблица Л10.1 – Основные метрологические и технические характеристики угломеров

| Тип угломера | Значение отсчета по нониусу | Предел измерений |                  | Номер рисунка |
|--------------|-----------------------------|------------------|------------------|---------------|
|              |                             | наружных углов   | внутренних углов |               |
| 1            | 2' и 5'                     | от 0° до 180°    | -                | а             |
| 2            | 2'                          | " 0° " 360°      | от 40° до 180°   | б             |
| 3            | 5' и 10'                    | " 0° " 360°      | -                | в             |
| 4            | 10'                         | " 0° " 180°      | -                | г             |

Рассмотрим более подробно угломер типа 1.

Данный угломер (рис. Л10.2) состоит из основания 2, к которому жестко прикреплена линейка 1, и сектора с подвижной линейкой 4 и нониусом 8.

В нужном положении сектор с подвижной линейкой может быть закреплен винтом 7. Для точной установки линейки 4 служит микрометрический винт с гайкой 6. При микрометрических перемещениях необходимо открепить винт 7 и закрепить винт 5. Этот угломер имеет возможность измерять углы от 0 до 180°, причем для измерения углов от 0 до 90° на подвижную линейку 4 надевается и фиксируется винтом 9 угольник 3 (углы от 90° до 180° измеряют угломером без угольника).

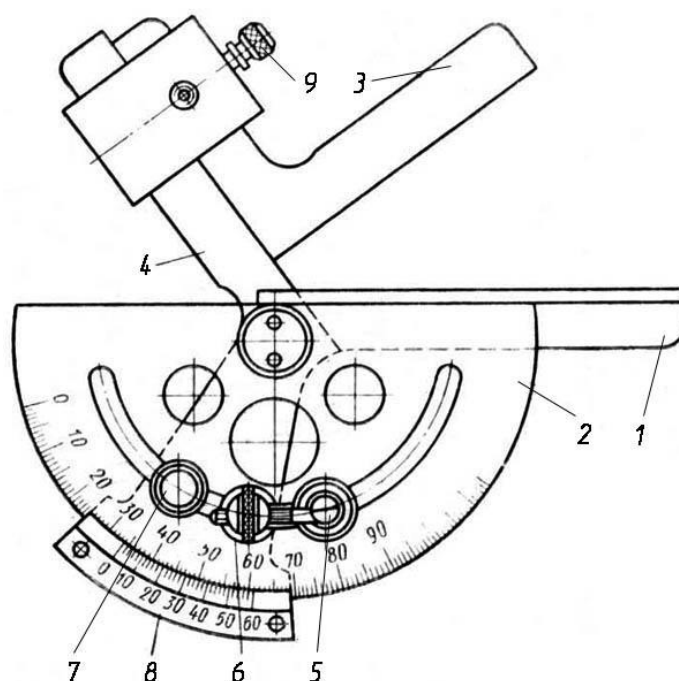


Рисунок Л10.2 – Угломер тип 1

Механические угломеры снабжены нониусом, величина отсчета которых определяется по той же формуле, что и у нониуса штангенциркуля:

$$b = a / n,$$

где  $b$  – величина отсчета по нониусу;  $a$  – длина деления основной шкалы сектора;  $n$  – число делений.

### **1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора**

Для получения точных значений необходима регулярная поверка угломеров, проверка их соответствия эталонным значениям.

Для измерения угломером необходимо:

- открепить стопорные винты 5 и 7 и развернуть сектор относительно транспортира так, чтобы измеряемую деталь можно было установить между мерительными плоскостями;
- закрепить винт 5 и, пользуясь микрометрическим устройством, добиться плотного прилегания мерительных плоскостей к детали;
- закрепить винт 7 и произвести отсчет.

Для того, чтобы снять показания необходимо найти точно совпадающие риски двух шкал. Целое число в градусах считывается по шкале основания 2, а доли по нониусу 8.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1. Изучить назначение и конструкцию угломера типа 1.
2. Измерить заданные углы.
3. Построить поля допусков заданных углов.
4. Сделать заключение о годности детали.

## **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Нарисовать эскиз измеряемой детали.
2. Занести технические характеристики средства измерения в табл. Л10.2.

Таблица Л10.2 – Технические характеристики средства измерения

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Наименование прибора          |  |
| Пределы измерения, град.      |  |
| Цена деления по нониусу, мин. |  |
| Погрешность, мин              |  |

3. Измерить угломером все углы шаблона.

#### 4. Результаты измерений свести в табл. Л10.3.

Таблица Л10.3 – Данные о детали и результаты измерений

| Степень точности | Номинальные углы | Наименьшая сторона угла | Предельное отклонение | Действительное значение | Действительное отклонение |
|------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
|                  | $\alpha =$       |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\beta =$        |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\gamma =$       |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\varphi =$      |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\psi =$         |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\sigma =$       |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\chi =$         |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\omega =$       |                         |                       |                         |                           |

4. Построить схемы полей допусков заданных углов. Предельные отклонения углов для заданной степени точности приведены в [табл. Б.2 прил. Б](#).

5. Дать заключение о годности углов.

6. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что принято за единицу измерения угла?
2. Что такое допуск на угловой размер и как он обозначается?
3. Какие способы установлены для задания допусков на угловые размеры?
4. Какие существуют методы и средства измерения углов?
5. Что такое призматические угловые меры? Какие типы угловых мер существуют и где они применяются?
6. Что такое угольник? Виды угольников и их применение.
7. Что такое гониометрический метод измерения углов, и какие приборы основаны на этом методе?
8. Что такое оптическая делительная головка, область применения?
9. Угломеры, принцип действия, цены делений. Как отсчитать величину угла по нониусу?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНУСНОСТИ ВНУТРЕННИХ КОНУСОВ ДВУМЯ ШАРИКАМИ

**Цель работы:** Приобретение практических навыков измерения конусности внутренних конусов двумя шариками.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ

Для определения конусности внутренних конусов методом двух шариков будем использовать микрометрический глубиномер.

Внешний вид прибора представлен на рис. Л11.1.

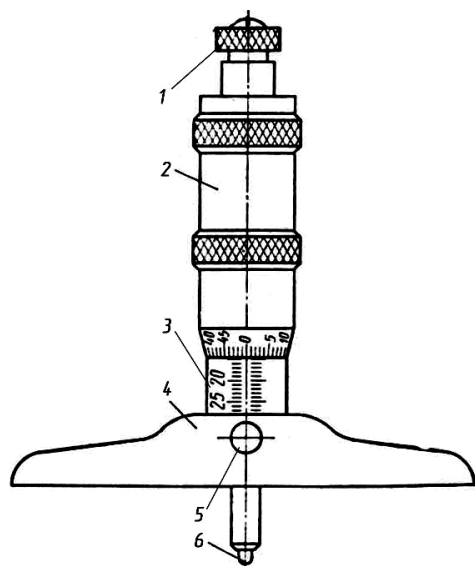


Рисунок Л11.1 – Микрометрический глубиномер

Он состоит из основания 4 с запрессованным в нем стеблем 3, микрометрического винта с измерительным стержнем 6, барабана 2, колпачка с трещоткой 1 и стопора 5. Устройство узла глубиномера аналогично устройству микрометра (цена деления 0,01 мм).

Измерительными поверхностями микрометрического глубиномера являются нижняя плоскость основания и торец сменного измерительного стержня. Более подробно микрометрические глубиномеры рассмотрены в [7].

Основные метрологические и технические характеристики микрометрических глубиномеров представлены в табл. Л11.1.

Таблица Л11.1 - Основные метрологические и технические характеристики микрометрических глубиномеров

| Тип<br>глубиномера | Диапазон<br>измерений,<br>мм | Перемещение<br>микровинта,<br>мм | Цена деления<br>по шкале<br>барабана<br>микровинта, мм | Предел допускаемой<br>погрешности, мм, для<br>классов точности |         |
|--------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------|
|                    |                              |                                  |                                                        | 1 класс                                                        | 2 класс |
| МГ                 | 0-25                         | 25                               | 0,01                                                   | ±0,002                                                         | ±0,004  |
|                    | 25-50                        |                                  |                                                        | ±0,003                                                         | ±0,004  |
|                    | 50-100                       |                                  |                                                        | ±0,003                                                         | ±0,005  |

## **1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора**

### *Подготовка прибора к работе*

Каждый раз перед началом работы необходимо провести проверку нулевых показаний микрометра, при необходимости выполнить настройку прибора на нуль.

Для настройки глубиномера опорную поверхность основания прижимают к торцу специальной, входящей в комплект, установочной меры, которую ставят на поверочную плиту. Микровинт со вставкой с помощью трещотки доводят до контакта с плитой, фиксируют его стопором и далее продельывают те же операции, что и при настройке на нуль микрометра.

### *Порядок проведения измерений*

Опорную поверхность основания микрометрического глубиномера устанавливают на базовую поверхность детали, относительно которой измеряется размер. Одной рукой прижимают основание к детали, а другой вращают за трещотку барабан микрометрической головки до касания стержня с измеряемой поверхностью и пощелкивания трещотки. Затем фиксируют стопором микровинт и снимают отсчет со шкал головки.

### *Определение показаний прибора*

Как и во всех микрометрических приборах указателем при отсчете по шкале стебля служит торец барабана, а продольный штрих стебля является указателем для круговой шкалы барабана. Пронумерованная шкала стебля показывает количество миллиметров, а его дополнительная шкала служит для подсчета половин миллиметров.

Значение последнего пройденного штриха миллиметровой шкалы стебля составляет целое число миллиметров. При отсчете показаний круговой шкалы в расчет берут то её значение, которое совпадает с продольным штрихом стебля.

Так, на рис. Л11.2, а показания прибора составляют:  $12 + 0,18 = 12,18$  мм.

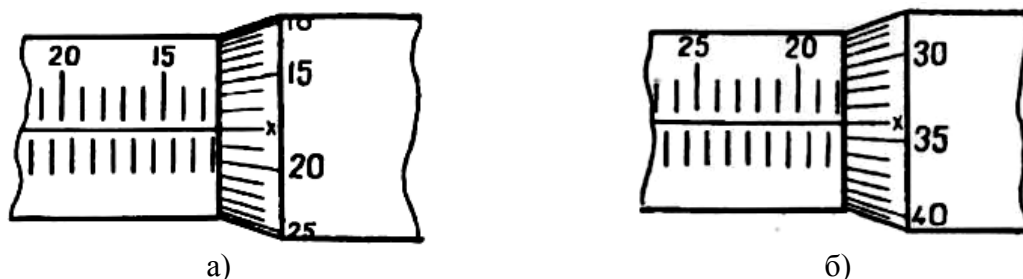


Рисунок Л11.2 – Определение показаний прибора

Если последним пройденным штрихом стебля является штрих дополнительной шкалы, то к показаниям миллиметровой шкалы нужно прибавить 0,5 мм. На рис. Л11.2, б:  $17 + 0,5 + 0,34 = 17,84$  мм.

### **Методика определения конусность внутренних конусов двумя шариками.**

Конусность внутренних конусов определяется двумя шариками косвенным методом измерения. С этой целью в коническое отверстие контролируемой детали последовательно закладывают два аттестованных шарика разных диаметров и микрометрическим глубиномером измеряют размеры  $H$  и  $h$  от принятой базы (рис. Л11.3).

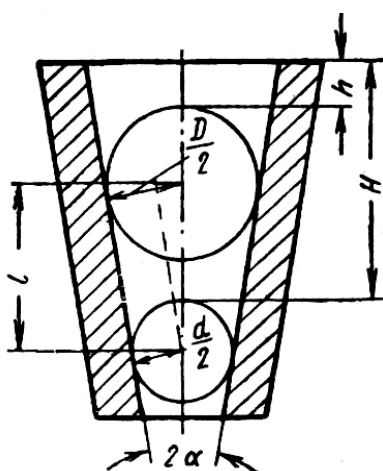


Рисунок Л11.3 – Измерение внутренней конусности методом двух шариков

По результатам измерения и размерам шариков  $D$  и  $d$  находят синус угла конуса. Из рис. Л11.3 следует:

$$\sin \alpha = \frac{D - d}{2\ell},$$

$$\text{где } \ell = H - h - \frac{D - d}{2}.$$

По синусу угла подсчитывают конусность по формуле:

$$K = 2 \operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \approx \frac{2 \sin \alpha}{1 - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha}.$$

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1. Изучить назначение и конструкцию микрометрического глубиномера.
2. Ознакомиться с методикой измерения конусности внутренних конусов двумя шариками.
3. Произвести необходимые замеры. Результаты измерения занести в таблицу результатов.
4. Рассчитать конусность детали.
5. Дать заключение о годности конического отверстия.

## **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Привести в отчете схему измерения.
2. Заполнить данные о детали (табл. Л11.2). Номинальная конусность в зависимости от номера конуса определяются по [табл. Б.3 прил. Б.](#)
3. Технические характеристики средства измерения занести в табл. Л11.3.

Таблица Л11.2 – Данные о детали

|                        |  |
|------------------------|--|
| Наименование           |  |
| Наибольший диаметр, мм |  |
| Номер конуса           |  |
| Номинальная конусность |  |

Таблица Л11.3 – Технические характеристики средства измерения

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Цена деления, мкм     |  |
| Погрешность, мкм      |  |

3. Проверить правильность установки глубиномера на нуль.
4. Измерить гладким микрометром диаметры шариков не менее 3 раз, зафиксировав их среднее значение в отчете.
5. Подобрать необходимый измерительный стержень. Для этого вертикально установить проверяемую деталь, опустить в отверстие шарик меньшего диаметра  $d$  и определить примерно расстояние  $H$ . Поместить в гнездо микровинта измерительный стержень.
6. Измерить микрометрическим глубиномером расстояние  $H$  (3 раза).
7. Опустить в отверстие шарик большего диаметра  $D$ , установить в микрометрический глубиномер необходимый измерительный стержень и измерить расстояние  $h$  (3 раза).
8. Результаты измерения занести в табл. Л11.4.

Таблица Л11.4 – Результаты измерения

| Измерение | Показания приборов, мм |     |
|-----------|------------------------|-----|
|           | $H$                    | $h$ |
| 1         |                        |     |
| 2         |                        |     |
| 3         |                        |     |
| среднее   |                        |     |

9. По приведенным выше формулам рассчитать синус угла конуса, угол конуса и конусность.
10. По указанию преподавателя построить схему расположения поля допуска.
11. Дать заключение о годности конического отверстия.
12. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие геометрические параметры установлены для конических элементов деталей?
2. Что такое коническое соединение, в чем преимущества конических соединений и какие они бывают?
3. Как подразделяются конические соединения в зависимости от способа фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых конусов?
4. Какие размеры являются номинальными для конусов и конических соединений?
5. Какими способами нормируются допуски конусов?
6. Что представляют собой конусные калибры и способы их применения?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ СИНУСНОЙ ЛИНЕЙКОЙ

**Цель работы:** Приобретение практических навыков измерения углов синусной линейкой.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### 1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ

Синусная линейка (рис. Л12.1) применяется для измерения углов шаблонов, конусов и тому подобных инструментов и деталей, а также для установки детали под заданным углом в пределах небольших отклонений (угловых допусков).

Она представляет собой стальную плиту с точно отшлифованными плоскостями, к которой крепятся два закаленных шлифованных цилиндрических ролика одинакового диаметра, расположенными на строго определенном расстоянии между осями друг друга (расстояние  $L$ ). Оси роликов должны быть параллельны измерительной поверхности плиты.

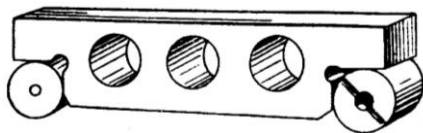


Рисунок Л12.1 – Синусная линейка

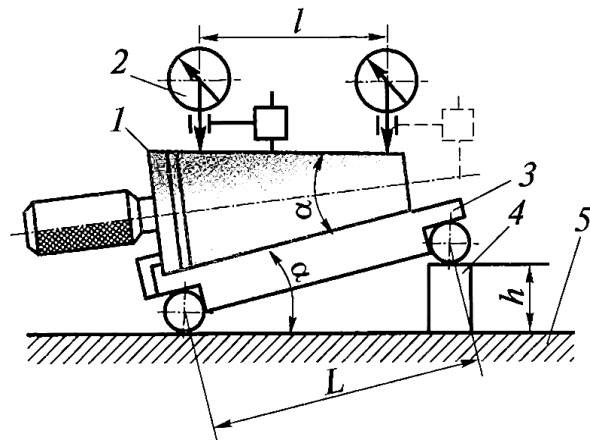


Рисунок Л12.2 – Измерение конусов на синусной линейке

При измерении углов конусов на синусной линейке (рис. Л12.2) стол 3, на котором закреплен конус 1, устанавливают на требуемый номинальный угол  $\alpha$  к плоскости поверочной плиты 5 с помощью концевых мер 4. Размер блока концевых мер находят по формуле  $h = L \sin \alpha$ . Прибором 2, укрепленным на универсальном штативе, определяют разность положений  $\delta h$  поверхности изделия на длине  $l$ . Отклонения угла при вершине конуса рассчитывают по формуле  $\delta \alpha = \delta h \cdot 1(\text{рад}) = \delta h \cdot 1,2 \cdot 10^5 (")$ .

Действительный угол проверяемого конуса определяют по формуле

$$\alpha_k = \alpha \pm \delta\alpha \pm \Delta_l,$$

где  $\Delta_l$  – погрешность измерения синусной линейкой, которая зависит от угла  $\alpha$ , погрешности блока концевых мер  $\Delta_m$  длины и погрешности расстояния между осями роликов  $\Delta L$ .

Погрешность измерения синусной линейки равна:

$$\Delta_l = 2 \cdot 10^5 (\Delta_m - \Delta_L \sin \alpha) / (L \cos \alpha).$$

Основные размеры, технические и метрологические характеристики синусных линеек типа ЛС должны соответствовать [ГОСТ 4046 – 80](#) и табл. Л12.1

Таблица Л.12.1 – Основные размеры, технические и метрологические характеристики синусных линеек типа ЛС

| Класс | Расстояние между осями роликов $L$ , мм | Ширина линейки $B$ , мм | Допускаемые отклонения расстояния между осями роликов, мм | Допускаемые погрешности линейки при установке на углы |                              |
|-------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------|
|       |                                         |                         |                                                           | до $30^\circ$                                         | св. $30^\circ$ до $45^\circ$ |
| 1     | 100                                     | 60                      | $\pm 0,0015$                                              | $\pm 5''$                                             | $\pm 6''$                    |
| 2     |                                         |                         | $\pm 0,0025$                                              | $\pm 8''$                                             | $\pm 10''$                   |
| 1     | 200                                     | 120                     | $\pm 0,003$                                               | $\pm 4''$                                             | $\pm 5''$                    |
| 2     |                                         |                         | $\pm 0,004$                                               | $\pm 6''$                                             | $\pm 8''$                    |

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомится с конструкцией синусной линейки.
2. Изучить методику измерения углов синусной линейкой.
3. Привести в отчете схематический рисунок детали и схему измерения.
4. Выбрать средство измерения.
5. Произвести необходимые замеры.
6. Дать заключение о годности детали.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Привести в отчете схематический рисунок детали и схему измерения.
2. Закрепить измеряемую деталь на синусной линейке, используя ряд отверстий с резьбой на ее измерительной поверхности.
3. Выбрать измерительную головку с ценой деления 0,002 мм и установить ее в измерительную стойку.

4. Технические характеристики средства измерения занести в табл. Л12.2.

Таблица Л12.2 – Технические характеристики средства измерения

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Наименование прибора           |  |
| Пределы измерения по шкале, мм |  |
| Цена деления, мкм              |  |
| Количество шкал, шт            |  |
| Погрешность, мкм               |  |

5. Определить номинальную конусность и угол конуса детали. Подсчитать величину блока концевых мер длины  $h$ , который следует подставить под один из роликов, чтобы образующая конуса детали была параллельна проверочной плите (рис. Л12.2).

6. На плиту поместить измерительную стойку с головкой, установить прибор на нуль или на любое другое деление в первой точке, находящейся на расстоянии не менее 2 мм от торца измеряемой детали.

7. Перевести прибор по плите на длину  $l$  во вторую точку измерения и определить его показания. Расстояние  $l$  задается с помощью измерительной линейки.

8. Найти разность показаний прибора  $n$ , соответствующую разности положений  $\delta h$  поверхности изделия на длине  $l$ .

9. Определить отклонение конусности  $\Delta K = \frac{n}{l}$ .

10. Определить отклонение угла конуса  $\Delta \alpha = \frac{n}{l} \cdot 2 \cdot 10^5 (")$ .

11. Результаты измерения занести в табл. Л12.3.

Таблица Л12.3 – Результаты измерений

| Показания прибора |              | Разность показаний<br>$n$ | Расстояние $l$<br>между точками<br>измерения | Отклонение конусности<br>$\Delta K$ | Отклонение угла конуса<br>$\Delta \alpha$ |
|-------------------|--------------|---------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| первая точка      | вторая точка |                           |                                              |                                     |                                           |
|                   |              |                           |                                              |                                     |                                           |

12. По указанию преподавателя построить схему расположения поля допуска.

13. Дать заключение о годности измеряемой детали.

14. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что принято за единицу измерения угла?
2. Что такое допуск на угловой размер и как он обозначается?
3. Какие способы установлены для задания допусков на угловые размеры?
4. Какие геометрические параметры установлены для конических элементов деталей?
5. Что такое коническое соединение, в чем преимущества конических соединений и какие они бывают?
6. Как подразделяются конические соединения в зависимости от способа фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых конусов?
7. Какие размеры являются номинальными для конусов и конических соединений?
8. Какими способами нормируются допуски конусов?
9. Какие существуют методы и средства измерения углов?
10. Что такое призматические угловые меры? Какие типы угловых мер существуют и где они применяются?
11. Что такое угольник? Виды угольников и их применение.
12. Что представляют собой конусные калибры и способы их применения?
13. Что такое синусная линейка? Виды синусных линеек. Как измерить угол детали на синусной линейке?
14. Что такое гониометрический метод измерения углов, и какие приборы основаны на этом методе?
15. Что такое оптическая делительная головка, область применения?
16. Угломеры, принцип действия, цены делений. Как отсчитать величину угла по нониусу?
17. Уровни ампульные, принцип действия ампулы, разновидности уровней.
18. Координатный (тригонометрический) метод измерения углов, в чем его сущность?

## 4. КОНТРОЛЬ РЕЗЬБ

### 4.1. Основные понятия и определения

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении и приборостроении. В современных машинах и приборах свыше 60 % всех деталей имеют резьбу.

**Резьбовым соединением** называется соединение деталей с помощью резьбы, т.е. элементов деталей, имеющих один или несколько равномерно расположенных винтовых выступов резьбы постоянного сечения, образованных на боковой поверхности цилиндра или конуса. Основные термины и определения устанавливает [ГОСТ 11708 – 82](#).

Контур сечения канавок и выступов в плоскости, проходящей через ось резьбы, общий для наружной и внутренней резьбы, называется *профилем резьбы*.

Наибольшее распространение, нашей стране получили метрические резьбы. В основу профиля метрической резьбы положен треугольник (рис. 4.1), у которого срезаны вершины ([ГОСТ 9150 – 2002](#)).

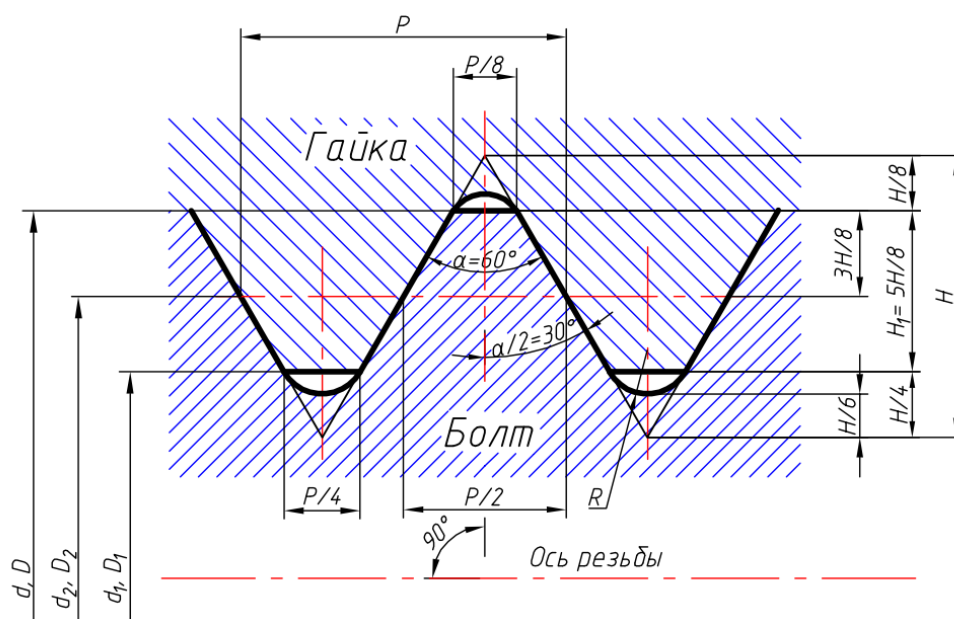


Рисунок 4.1 – Профиль метрической резьбы и ее основные параметры

Основные размеры метрических резьб устанавливает [ГОСТ 24705 – 2004](#) (табл. В.1 прил. В).

При изготовлении резьбовых деталей имеют место погрешности профиля резьбы и ее размеров, которые нарушают свинчиваемость и ухудшают качество соединений. Для обеспечения свинчиваемости и качества резьбовых соединений действительные значения параметров резьбы, а именно диаметров  $d$  ( $D$ ),  $d_1$  ( $D_1$ ),  $d_2$  ( $D_2$ ), шага  $P$ , угла профиля  $\alpha$  не должны

выходить за предельные контуры по всей длине свинчивания [1-2, 6].

Свинчиваемость можно считать обеспеченной, если разность средних диаметров резьб болта и гайки не меньше сумм диаметральных компенсаций шага и половины угла профиля обеих деталей.

Значение среднего диаметра резьбы, увеличенное у болта и уменьшенное у гайки на суммарную диаметральную компенсацию отклонений шага и половины угла профиля называют *приведенным средним диаметром*. Приведенный средний диаметр резьбы – это средний диаметр идеального резьбового элемента, который соединяется с реальной резьбой. Этот диаметр невозможно измерить непосредственно, его можно проконтролировать.

Для определения значения приведенного среднего диаметра необходимо измерять отдельно средний диаметр, шаг и половину угла профиля.

Приведенный средний диаметр равен (рис. 2.2)

для наружной резьбы:

$$d_{2\text{ пр}} = d_{2\text{ изм}} + f_p + f_\alpha ;$$

для внутренней резьбы:

$$D_{2\text{ пр}} = D_{2\text{ изм}} - (f_p + f_\alpha),$$

где  $d_{2\text{ изм}}$  и  $D_{2\text{ изм}}$  – измеренные (действительные) значения соответственно среднего диаметра резьбы болта и гайки, мм;  $f_p$  и  $f_\alpha$  – диаметральные компенсации соответственно отклонений шага и половины угла профиля.

Условие годности болта (рис. 4.2, а)

$$d_{2\text{ изм}} \geq d_{2\text{ мин}} = d_2 + ei,$$

$$d_{2\text{ пр}} \leq d_{2\text{ макс}} = d_2 + es.$$

Условие годности гайки (рис. 4.2, б)

$$D_{2\text{ изм}} \leq D_{2\text{ макс}} = D_2 + ES,$$

$$D_{2\text{ пр}} \geq D_{2\text{ мин}} = D_2 + EI.$$

Наибольший средний диаметр гайки и наименьший средний диаметр болта ограничивают величины собственно средних диаметров гайки и болта.

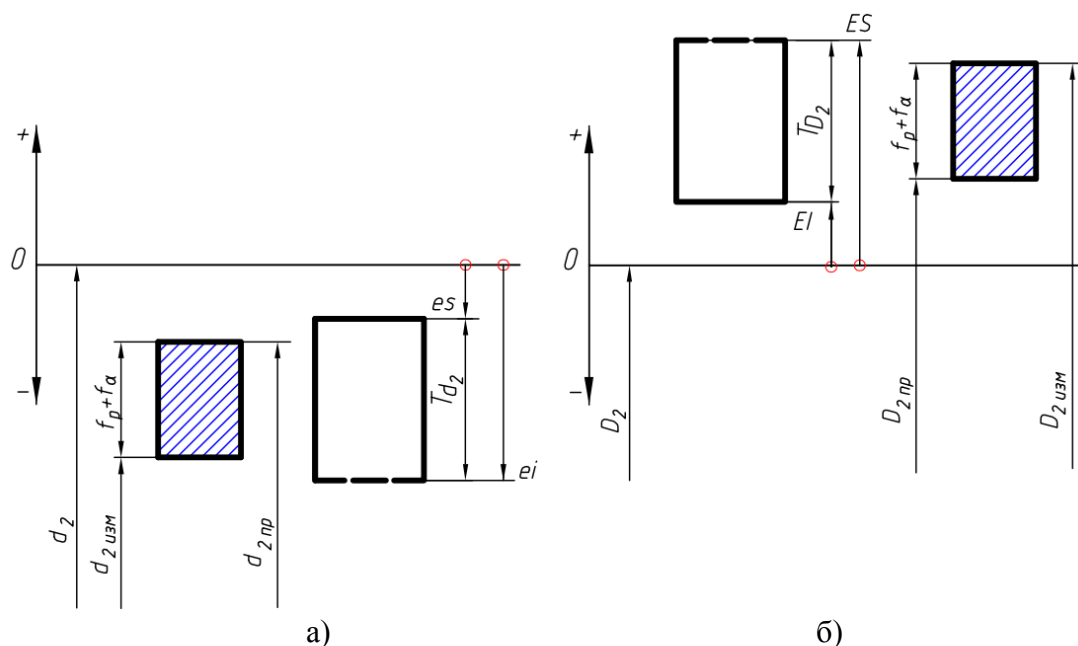


Рисунок 4.2 – Схемы полей допусков:  
а) среднего диаметра  $d_2$  болта; б) среднего диаметра  $D_2$  гайки

Средний диаметр, шаг и угол профиля являются основными параметрами резьбы, т.к. они определяют эксплуатационные свойства резьбового соединения.

Вследствие взаимосвязи между отклонениями шага, угла профиля и собственно среднего диаметра допустимые отклонения этих параметров отдельно не нормируются. Устанавливают только суммарный допуск на средний диаметр болта  $T_{d_2}$  и гайки  $T_{D_2}$ , который включает допустимое отклонение собственно среднего диаметра  $\Delta d_2$  ( $\Delta D_2$ ) и диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля, т.е.

$$T_{d_2}(T_{D_2}) = \Delta d_2(\Delta D_2) + f_p + f_\alpha. \quad (1)$$

#### 4.2. Выбор метода и средств измерения параметров резьбы

Точность резьбы можно контролировать дифференциальным (поэлементным) или комплексными методами [1, 2, 6].

Комплексный метод контроля применяют для резьбовых деталей невысокой точности, допуск среднего диаметра которых является суммарным. Он основан на одновременном контроле среднего диаметра, шага, половины угла профиля, внутреннего и наружного диаметров резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельным. Это достигается с помощью предельных калибров.

Дифференциальный метод используют для измерения точных резьб (калибров-пробок, резьбообразующего инструмента и т.п.).

Анализ конструктивных особенностей резьбовой детали показывает, что для исследования ее точности необходимо измерить:

- 1) наружный диаметр  $d$  ( $D$ );
- 2) средний диаметр  $d_2$  ( $D_2$ );
- 3) внутренний диаметр  $d_1$  ( $D_1$ );
- 4) длину  $n$  шагов  $nP$ ;
- 5) половину угла профиля  $\alpha/2$ .

При выборе средства измерения следует учитывать, что допустимая погрешность измерения  $\delta_{изм}$  должна быть меньше предполагаемой погрешности измеряемой величины.

С учетом составляющих погрешностей принципа измерения допустимую погрешность измерительного средства принимаем равной

$$\delta_{изм} \leq 0,1T, \quad (2)$$

где  $T$  – допуск на измеряемый параметр.

Измерение среднего диаметра наружной резьбы  $d_2$ , в зависимости от требуемой точности, производится (табл. 4.1) приборами с резьбовыми вставками, контактными приборами с помощью трех проволок (косвенные измерения), проекционными приборами (для резьб с нечетным числом заходов).

Таблица 4.1 – Предельные погрешности измерения параметров наружной резьбы

| Параметры<br>резьбы                                             | Наименование средства<br>измерения   |                                                                 | Диапазон<br>измерения,<br>мм (град.)                                       | Предельная<br>погрешность<br>измерения $\pm \delta_{изм}$ ,<br>мкм (мин) |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Средний<br>диаметр<br>$d_2$                                     | Микрометры с резьбовыми<br>вставками |                                                                 | 0-25<br>25-50                                                              | 100                                                                      |
|                                                                 | С помощью<br>трех<br>проволочек      | Микрометры гладкие                                              | 0-25<br>25-50                                                              | 7,0<br>9,0                                                               |
|                                                                 |                                      | Оптиметры вертикальные                                          | 1-50                                                                       | 2,0                                                                      |
|                                                                 |                                      | Длиномеры вертикальные<br>типа ИЗВ-1, ИЗВ-2, ИЗВ-3              | 1-10<br>10-50                                                              | 3,0<br>3,5                                                               |
|                                                                 |                                      |                                                                 | Микроскопы измерительные уни-<br>версальные типа УИМ-21, УИМ-23            | 1-18<br>18-50                                                            |
|                                                                 | Шаг<br>резьбы $P$                    | Микроскопы измерительные уни-<br>версальные типа УИМ-21, УИМ-23 |                                                                            | 1-20<br>20-50<br>50-80                                                   |
| Микроскопы измерительные уни-<br>версальные типа УИМ-21, УИМ-23 |                                      | 30°                                                             | 6,5...8,5<br>при $P = 1,5...2,5$ мм<br>5,0...6,5<br>при $P = 2,5...5,0$ мм |                                                                          |
|                                                                 |                                      |                                                                 |                                                                            |                                                                          |

Наружный диаметр  $d$  измеряют обычно универсальным прибором требуемой точности, внутренний диаметр  $d_1$  – с помощью специальных остроконечных вставок к микрометру или проекционными приборами, шаг  $P$  и угол  $\alpha/2$  – проекционными приборами.

Измерение среднего диаметра внутренней резьбы свыше 18 мм измеряют на горизонтальном оптиметре с помощью специальных шаровых наконечников, а также резьбовыми нутромерами с резьбовыми вставками.

Шаг и угол внутренней резьбы измеряют по слепкам и отливкам, получаемым путем заливки внутренней резьбы специальными сплавами.

**Пример.** Выбрать методы и средства измерения деталей с резьбой M20-7g-36.

По таблицам ГОСТ 24705 – 2004 или табл. В.1 прил. В определяем номинальные параметры резьбы и строим схемы расположения полей допусков (рис. 4.3) по диаметрам  $d$ ,  $d_2$ ,  $d_1$ , пользуясь таблицами ГОСТ 16093 – 81 или табл. В.2 прил. В [2, 3, 6].

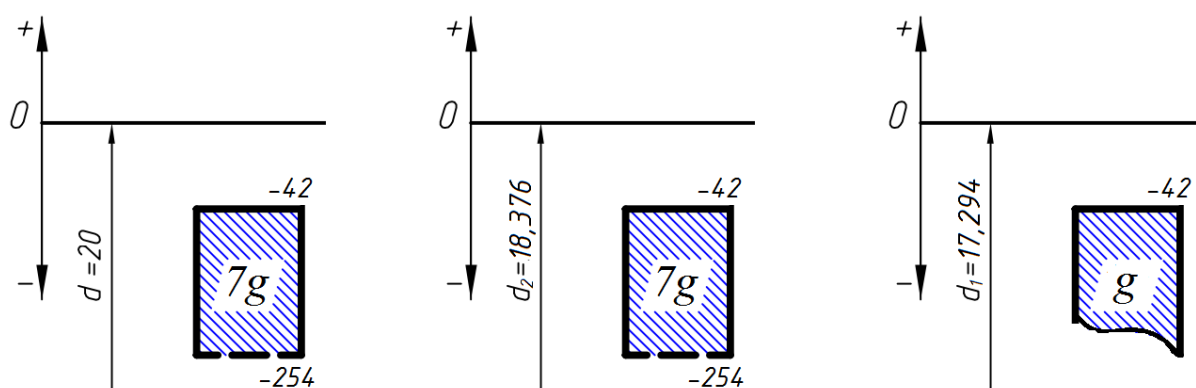


Рисунок 4.3 – Схемы расположения полей допусков по диаметрам  $d$ ,  $d_2$ ,  $d_1$

Определяем допустимую погрешность измерения среднего диаметра по уравнениям (1) и (2) и с помощью табл. 4.1.

$$\delta_{изм}(d_2) \leq 0,1 \cdot 212 - 1,732 \cdot 5 - 0,36 \cdot 2,5 \cdot 6,5 = 6,62, \text{ мкм}$$

По табл.4.1 определяем, что при косвенных измерениях среднего диаметра с помощью трех проволочек подходит длиномер вертикальный или оптиметр вертикальный.

Учитывая большую производительность первого прибора по сравнению со вторым, выбираем вертикальный длиномер.

Перед измерением следует ознакомиться с устройством выбранного измерительного средства и с порядком отсчета его показаний.

### **Контроль резьбы калибрами**

Основным методом контроля параметров резьбовых изделий в производственных условиях является контроль с помощью комплекта калибров [2-3]. В комплект калибров для контроля наружной резьбы (рис. 4.4) входят: проходной резьбовой калибр-кольцо (или калибр-скоба) ПР (контро-

лирует приведенный средний диаметр и одновременно внутренний диаметр резьбы); непроходной резьбовой калибр-кольцо (или калибр-скоба) *НЕ* (контролирует наименьший средний диаметр); гладкий калибр-скоба (или калибр-кольцо) *ПР* (контролирует наибольший наружный диаметр резьбы) и гладкий калибр-скоба (или калибр-кольцо) *НЕ* (контролирует наименьший предельный размер наружного диаметра резьбы).

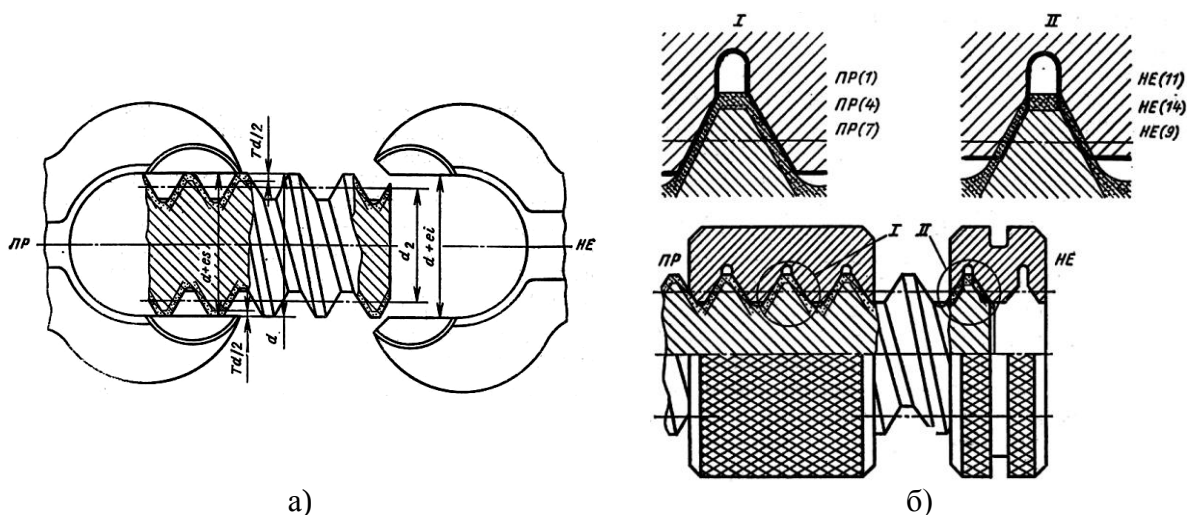


Рисунок 4.4 – Гладкие калибры-скобы (а) и резьбовые калибры-кольца (б) для контроля наружной резьбы

Комплект калибров для контроля параметров внутренней резьбы (рис. 4.5) содержит: проходной резьбовой калибр-пробку *ПР* (контроль приведенного среднего диаметра и одновременно наружного диаметра резьбы); непроходной резьбовой калибр-пробку *НЕ* (контроль наибольшего среднего диаметра внутренней резьбы); гладкий калибр-пробку *ПР* (контроль наименьшего предельного размера внутреннего диаметра резьбы) и гладкий калибр-пробку *НЕ* (контроль наибольшего предельного размера внутреннего диаметра внутренней резьбы).

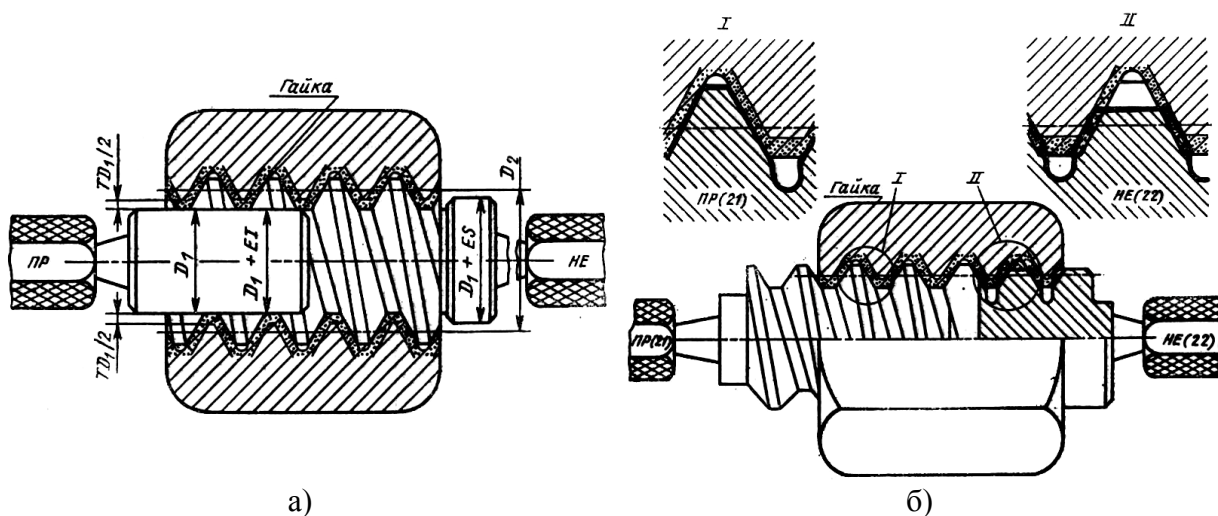


Рисунок 4.5 – Гладкие калибры-пробки (а) и резьбовые калибры-пробки (б) для контроля внутренней резьбы

Резьбовые калибры *ПР* для наружной и внутренней резьбы имеют полный профиль, резьбовые калибры *НЕ* имеют укороченный профиль (уменьшен наружный диаметр, а по внутреннему диаметру выполнено углубление-проточка). Укороченный профиль снижает влияние погрешностей шага и угла профиля на результат контроля.

Конструкции резьбовых калибров приведены на рис. 4.6.

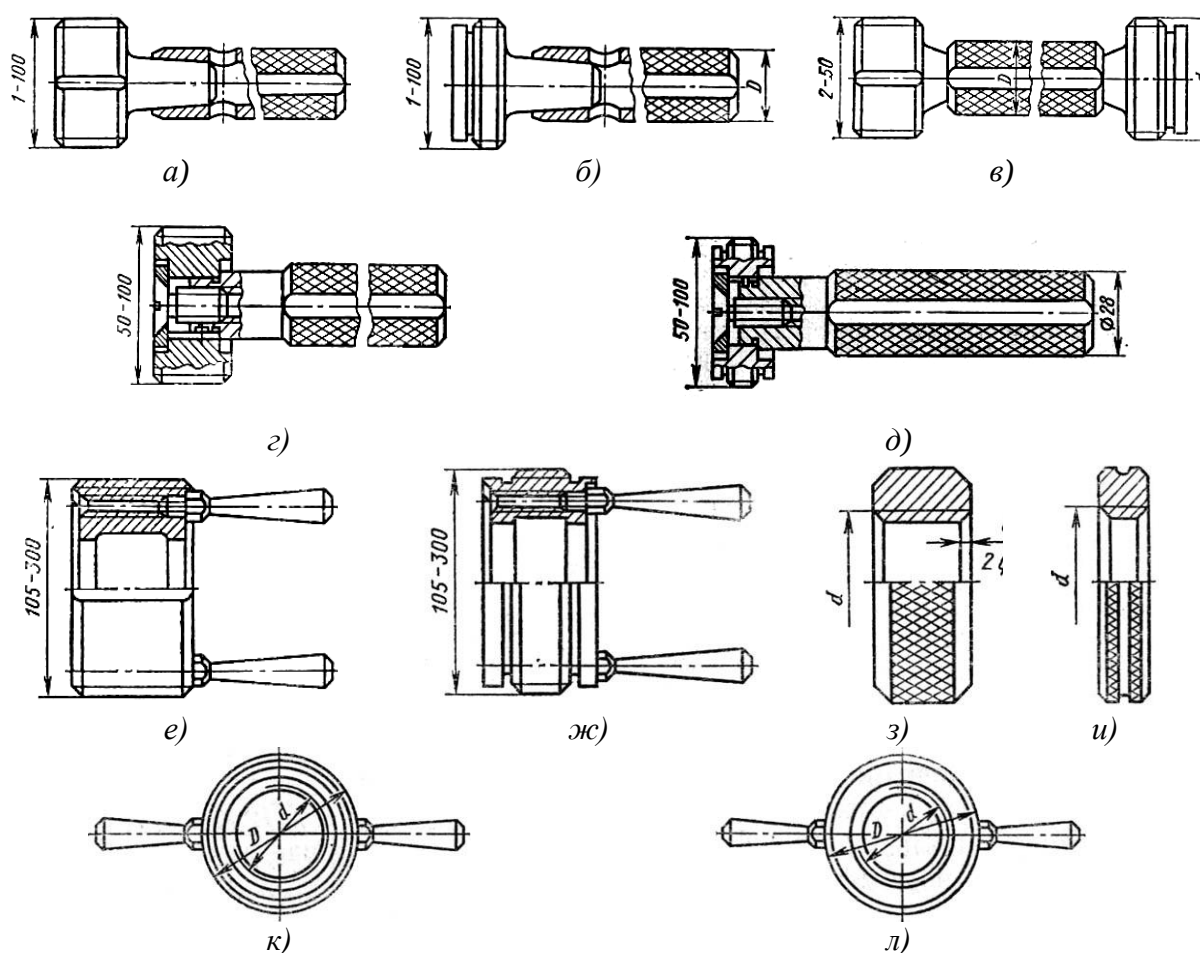


Рисунок 4.6 – Конструкция резьбовых калибров-пробок и калибров колец:  
а), б), в) – со вставками; г), д) – с насадкой; е), ж) – с ручками; з) и) – без ручек;  
к), л) – с ручками на боковой поверхности

Резьбовые калибры-пробки *ПР* и *НЕ* мод. 600 (рис. 4.6, а, б) со вставкой с конусным хвостовиком изготавливают с номинальным диаметром резьбы 1...100 мм, а также двусторонними со вставками диаметром 2...50 мм (рис. 4.6, в).

Резьбовые непроходные калибры-пробки *НЕ* отличаются наличием гладкой цилиндрической направляющей и малой длиной резьбовой части. Резьбовые калибры-пробки *ПР* (рис. 4.6, г) и калибры-пробки *НЕ* (рис. 4.6, д) диаметром 50...100 мм выполняют в виде насадок, закрепляе-

мых на концах ручек.

Для контроля резьб диаметром 105...300 мм применяют резьбовые калибры-пробки *ПР* (рис. 4.6, *е*) и калибры-пробки *НЕ* (рис. 4.6, *ж*) с двумя ручками, ввернутыми в торцовую поверхность калибра.

Наружные резьбы контролируют резьбовыми калибрами-кольцами *ПР* (рис. 4.6, *з*) с полным профилем резьбы и резьбовыми калибрами-кольцами *НЕ* с укороченным профилем (рис. 4.6, *и*). Наружная цилиндрическая поверхность резьбовых калибров накатана Резьбовой калибр-кольцо *НЕ* имеет отличительный признак – проточку на наружной поверхности кольца и заметно меньшую высоту кольца по сравнению с резьбовым калибром-кольцом *ПР*.

Резьбовые калибры-кольца *ПР* и *НЕ* диаметром 105...300 мм снабжены ручками, ввертываемыми в наружные цилиндрические поверхности калибров (рис. 4.6, *к*, *л*).

Для контроля резьбы изделий в процессе их изготовления пользуются новыми резьбовыми калибрами *ПР* и частично изношенными резьбовыми калибрами *НЕ*.

Контролеры и представители заказчика, если это не оговорено документацией, пользуются частично изношенными калибрами *ПР* и новыми резьбовыми калибрами *НЕ*.

Калибры-кольца в процессе производства контролируют с помощью специально изготовленных контрольных и установочных резьбовых калибров-пробок высокой точности. Износ резьбовых калибров-колец *ПР* и *НЕ* в процессе их эксплуатации определяют специальными резьбовыми контрольными калибрами *К-И*, которые не должны ввинчиваться в контролируемый резьбовой калибр-кольцо.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13. ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА РЕЗЬБЫ РЕЗЬБОВЫМ МИКРОМЕТРОМ

**Цель работы:** Изучение принципа действия и конструкции резьбового микрометра, приобретение практических навыков измерения среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ*

Резьбовой микрометр служит для измерения среднего диаметра крепежных резьб. По конструкции этот микрометр аналогичен гладкому микрометру и отличается от последнего, главным образом, устройством пятки и микровинта. В пятке **2** и конце микровинта **3** резьбового микрометра (рис. Л13.1, а) имеются отверстия, в которые вставляются сменные вставки. Барабан резьбового микрометра выполнен составным, что облегчает установку микрометра на нуль; встречаются конструкции с регулируемой пяткой **2** (рис. Л13.1, б).

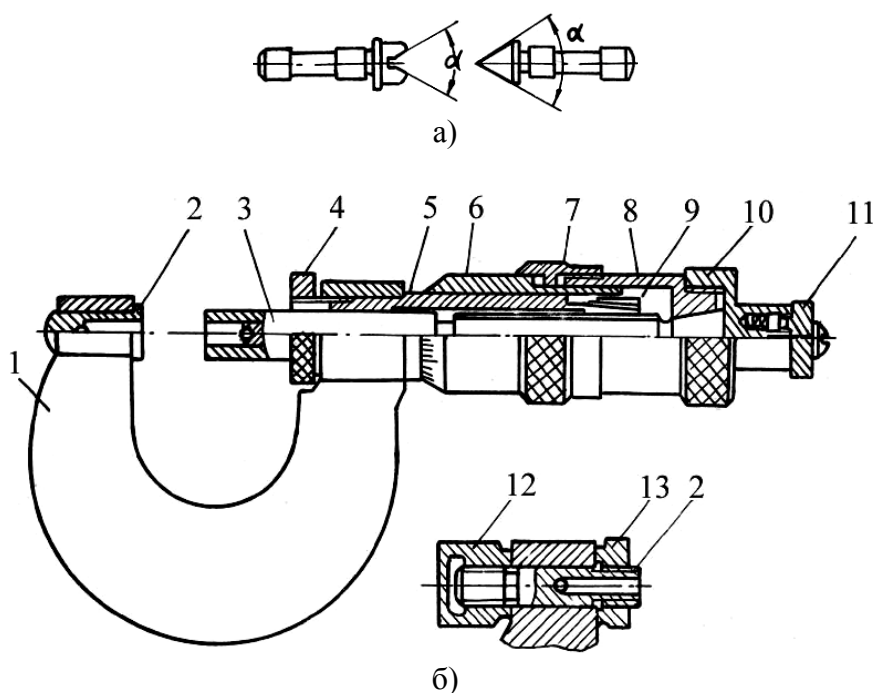


Рисунок Л13.1 – Резьбовой микрометр:  
а) сменные вставки; б) конструкция

При измерении среднего диаметра резьбы применяются две вставки, одна из которых имеет конусообразную форму, другая – призматическую.

Каждая пара вставок предназначена для измерения резьб определенного шага: 0,4-0,5; 0,6...0,8; 1...1,5; 1;75...2,5; 3...4,5 мм.

Выпускаются микрометры для измерения резьб диаметром от 0 до 350 мм с интервалом 25 мм: 0...25, 25...50, ..., 325...350 мм. Цена деления барабана – 0,01 мм. Предельная погрешность микрометра зависит от шага и диаметра резьбы и может составлять от  $\pm 10$  до  $\pm 30$  мкм.

### ***1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора***

Каждый раз перед началом работы необходимо провести проверку нулевых показаний микрометра, при необходимости выполняют настройку.

#### ***Настройка на ноль***

Настройка микрометра производится в следующей последовательности: отпустить стопорную гайку микровинта **4** (см. рис. Л13.1) и, вращая микровинт за трещотку **11**, добиться контакта между вставками (микрометры с пределами измерения свыше 25 мм настраиваются по специальным установочным мерам). Контакт считается правильным при трехкратном прощелкивании трещоток. Если при этом нулевой штрих барабана не совпадает с осевой риской на стебле **5** микрометра, то необходимо отрегулировать положение шкалы.

Для регулировки положения шкалы:

а) зафиксировать положение микровинта стопорной гайкой; отвернуть кольцо барабана **6** и, поддерживая другую часть барабана **8** за накатку колпачка **10**, задвинуть часть барабана **6** со шкалой и установить ее так, чтобы нулевой штрих этой части барабана совпал с осевой риской на стебле микрометра, а торец барабана – с нулевым делением на стебле; в этом положении поворотом кольца **6** закрепить часть барабана со шкалой;

б) отпустить стопор **4** и отвернуть микровинт на 1-2 оборота, после чего, вновь добившись контакта вставок (микровинт вращать только за трещотку **11**), проверить правильность нулевого показания. При необходимости повторить установку.

В некоторых конструкциях микрометров установка на ноль производится не барабаном, а регулируемой пяткой **2**. Регулировка производится так:

а) установить нулевое показание по обоим шкалам и в этом положении застопорить микровинт стопором **4**; отпустить контргайку **12** регулируемой пятки и выдвинуть ее гайкой **13** до соприкосновения вставок; в этом положении закрепить пятку контргайкой;

б) отпустить стопор **4** и отвернуть микровинт на 1-2 оборота, после чего вращением за трещотку вновь добиться контакта вставок и проверить правильность нулевого показания.

При необходимости повторить установку.

*Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора.*

Ввести проверяемую резьбу между наконечниками и, пользуясь трещоткой, измерить средний диаметр. Порядок снятия показаний аналогичен порядку снятия показаний микрометра гладкого.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1. Изучить назначение и конструкцию резьбового микрометра.
2. Измерить заданные параметры.
3. Построить поле допуска среднего диаметра.
4. Сделать заключение о годности резьбовой детали по контролируемому параметру.

## **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Нарисовать схематический рисунок процесса измерения.
2. Указать метрологические характеристики применяемого микрометра и занести их в табл. Л13.1.

Таблица Л13.1 – Технические характеристики средства измерения

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Цена деления, мкм     |  |
| Погрешность, мкм      |  |

3. Определить при помощи резьбомера или штангенциркуля шаг резьбы, подлежащий измерению. Технические характеристики детали отобразить в табл. Л13.2.

Таблица Л13.2 – Технические характеристики детали

|                                         |  |
|-----------------------------------------|--|
| Наименование                            |  |
| Маркировка по ГОСТ                      |  |
| Шаг резьбы, $P$ , мм                    |  |
| Номинальный средний диаметр, $d_2$ , мм |  |

4. Отобрать соответствующие вставки. Вставку с конусом поместить в гнездо микровинта, а вставку призматическую – в гнездо пятки.
5. Проверить установку микрометра на нуль.
6. Ввести проверяемую резьбу между наконечниками и, пользуясь трещоткой, измерить средний диаметр.

С целью самоконтроля рекомендуется после измерения зафиксировать положение микровинта стопором 4 и между вставками микрометра осто-

можно прокатить проверяемую резьбу. В том случае, если резьба проходит между вставками микрометра с легким усилием, то измерение произведена правильно. Если же усилие при прокатывании резьбы чрезмерно велико или отсутствует, то измерение следует повторить. Произвести отсчет по шкалам. Измерение выполнить 3 раза.

Результаты измерений занести в таблицу Л13.3.

Таблица Л13.3 – Результаты измерений

| № измерения      | Показание прибора |
|------------------|-------------------|
| 1                |                   |
| 2                |                   |
| 3                |                   |
| среднее значение |                   |

7. Из табл. [табл. В.2 прил. В](#) для измеряемой резьбы определить предельные отклонения среднего диаметра резьбы  $d_2$ .

8. Нарисовать схему расположения полей допусков для среднего диаметра резьбы  $d_2$ .

9. Дать заключение о годности, сравнивая полученные действительные значения основных элементов резьбы с допускаемыми.

10. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение резьбы?
2. Обозначение резьбы на чертежах?
3. Какие основные элементы проверяемой резьбы регламентированы предельными отклонениями по стандарту?
4. Что такое приведенный средний диаметр резьбы?
5. Что такое диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля и как их определить?
6. Назначение комплексного и поэлементного методов контроля?
7. Какие средства измерений используются для комплексного контроля параметров резьб?
8. Какие средства измерений используются для поэлементного контроля параметров резьб? Привести их основные метрологические характеристики?
9. С какой целью измеряют половину угла профиля, а не целый угол?
10. Как выбирается диаметр проволок?
11. С какой целью производят измерение шага и половины угла профиля по левой и правой сторонам профиля резьбы?
12. Как дается заключение о годности резьбы при комплексном и поэлементном методах контроля?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14.**  
**ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА РЕЗЬБЫ**  
**МЕТОДОМ ТРЕХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОВОЛОЧЕК**

**Цель работы:** Приобретение практических навыков измерения среднего диаметра резьбы методом трех проволок.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### ***1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ***

Для измерения среднего диаметра методом трех проволок в данной лабораторной работе будем использовать микрометр гладкий. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики микрометра гладкого подробно рассмотрены в лабораторной работе №2 [7].

### ***1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора***

Подготовка прибора к работе, порядок проведения измерений и снятия показаний прибора подробно рассмотрены в лабораторной работе №2 [7].

### Измерение среднего диаметра методом трех проволок

Для измерения среднего диаметра методом трех проволок во впадинах резьбы вкладывают три калиброванные проволоочки одинакового диаметра  $d_{nv}$  так, как это указано на рис. Л14.1, *а*.

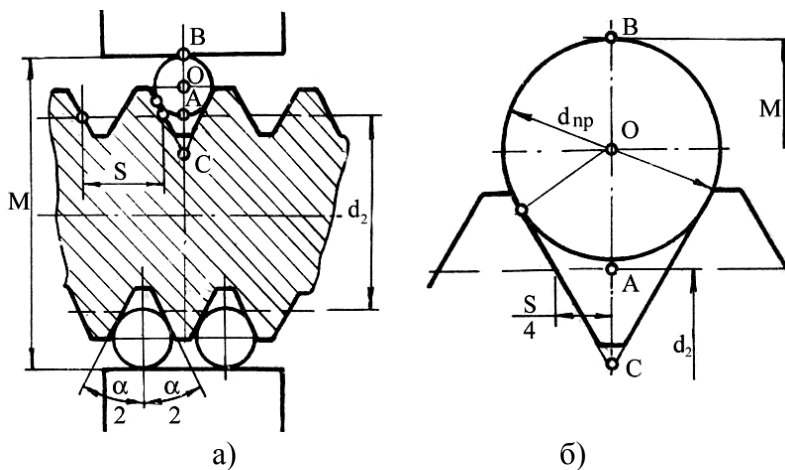


Рисунок Л14.1 – Измерение среднего диаметра резьбы  
методом трех измерительных проволок

Проволочки должны иметь такой диаметр, чтобы касание их с витками резьбы проходило в точках, лежащих на образующей воображаемого

цилиндра, пересекающего резьбу в точках (рис. Л14.1), определяющих средний диаметр (т.е. где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы).

$$\text{Для резьб с симметричным профилем: } d_{np} = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}.$$

При измерении проволочками такого предпочтительного диаметра погрешности угла  $\alpha$  проверяемой резьбы не влияют на погрешность измерения.

Для метрических резьб ( $\alpha = 60^\circ$ )

$$d_{np} = 0,5774P.$$

Диаметры проволочек выбирают в зависимости от шага измеряемой резьбы (табл. Л14.1).

Таблица Л14.1 – Зависимость диаметра проволочек от шага резьбы

| Шаг<br>резьбы<br>$P$ , мм | Предпочти-<br>тельный диаметр<br>проволочки<br>$d_{np}$ , мм | Шаг<br>резьбы<br>$P$ , мм | Предпочти-<br>тельный диаметр<br>проволочки<br>$d_{np}$ , мм | Шаг<br>резьбы<br>$P$ , мм | Предпочти-<br>тельный диаметр<br>проволочки<br>$d_{np}$ , мм |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 0,5                       | 0,289                                                        | 1,25                      | 0,722                                                        | 3,5                       | 2,021                                                        |
| 0,6                       | 0,346                                                        | 1,5                       | 0,866                                                        | 4,0                       | 2,309                                                        |
| 0,7                       | 0,404                                                        | 1,75                      | 1,010                                                        | 4,5                       | 2,598                                                        |
| 0,75                      | 0,433                                                        | 2,0                       | 1,155                                                        | 5,0                       | 2,887                                                        |
| 0,8                       | 0,462                                                        | 2,5                       | 1,443                                                        | 5,5                       | 3,175                                                        |
| 1,0                       | 0,577                                                        | 3,0                       | 1,732                                                        | 6,0                       | 3,464                                                        |

Далее микрометром или другим измерительным прибором с плоскими мерительными поверхностями измеряют расстояние  $M$  между образующими проволочек.

Результат измерения не дает непосредственного значения среднего диаметра резьбы (косвенные измерения). Величина среднего диаметра резьбы определяется расчетом. Из рис. Л14.1, б следует:

$$d_2 = M - 2 \left( \frac{d_{np}}{2} + OC - AC \right),$$

$$\text{где } P \text{ – шаг резьбы; } OC = \frac{d_{np}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad AC = \frac{P}{4} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2},$$

Отсюда

$$d_2 = M - d_{np} \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right).$$

Для метрических резьб  $\alpha = 60^\circ$ , поэтому

$$d_2 = M - 3d_{np} + 0,866P. \quad (3)$$

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить назначение, конструкцию и метрологические характеристики микрометра гладкого.
2. Ознакомиться с методикой измерения среднего диаметра методом трех проволок.
3. Произвести необходимые замеры. Результаты измерения занести в таблицу результатов.
4. Рассчитать средний диаметр  $d_2$  резьбовой детали.
5. Дать заключение о годности резьбовой детали по параметру  $d_2$ .

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Отобразить схематический рисунок процесса измерения.
2. Метрологические характеристики применяемого микрометра занести в табл. Л14.2.

Таблица Л14.2 – Технические характеристики средства измерения

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Цена деления, мкм     |  |
| Погрешность, мкм      |  |

3. Подобрать проволоки предпочтительного диаметра. Для этого резьбомером определить шаг резьбы и подобрать наиболее близкие по размеру проволоки.

4. Технические характеристики детали отобразить в таблице Л14.3.

Таблица Л14.3 – Технические характеристики детали

|                                         |  |
|-----------------------------------------|--|
| Наименование                            |  |
| Маркировка по ГОСТ                      |  |
| Шаг резьбы, $P$ , мм                    |  |
| Номинальный средний диаметр, $d_2$ , мм |  |

5. Проверить установку микрометра на нуль. После настройки на нуль закрепить микрометр в подставку (рис. Л14.2) и повесить на кронштейн подобранные проволоочки.

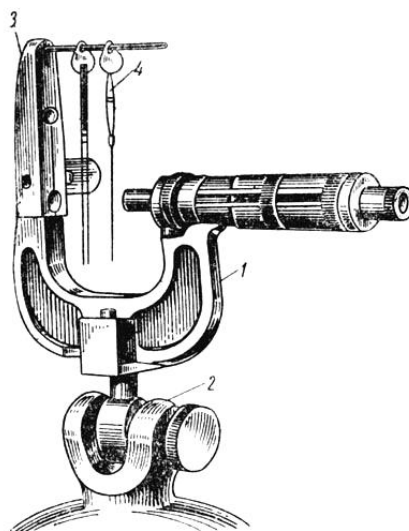


Рисунок Л14.2 – Измерение среднего диаметра резьбы гладким микрометром  
1 – микрометр гладкий; 2 – стойка; 3 – кронштейн; 4 – проволоочки

6. Расположить измеряемую деталь между пятками микрометра, ввести проволоочки во впадины резьбы и, пользуясь трещоткой, измерить расстояние  $M$  между образующими проволоочек (рис. Л14.1). При измерении обратить внимание на то, чтобы все три проволоочки касались пяток микрометра. Измерение выполнить не менее трех раз. Результаты измерений занести в табл. Л14.4.

Таблица Л14.4 – Результаты измерений

| № измерения          | Показание прибора |
|----------------------|-------------------|
| 1                    |                   |
| 2                    |                   |
| 3                    |                   |
| Среднее значение $M$ |                   |

7. Подсчитать средний диаметр резьбы по формуле (3).

8. Из табл. [табл. В.2 прил. В](#) для измеряемой резьбы определить предельные отклонения среднего диаметра резьбы  $d_2$ .

9. Нарисовать схему расположения полей допусков для среднего диаметра резьбы  $d_2$ .

10. Дать заключение о годности, сравнивая полученные действительные значения основных элементов резьбы с допускаемыми.

11. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Назначение резьбы?
2. Обозначение резьбы на чертежах?
3. Какие основные элементы проверяемой резьбы регламентированы предельными отклонениями по стандарту?
4. Что такое приведенный средний диаметр резьбы?
5. Что такое диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля и как их определить?
6. Назначение комплексного и поэлементного методов контроля?
7. Какие средства измерений используются для комплексного контроля параметров резьб?
8. Какие средства измерений используются для поэлементного контроля параметров резьб? Привести их основные метрологические характеристики?
9. С какой целью измеряют половину угла профиля, а не целый угол?
10. Как выбирается диаметр проволоочек?
11. С какой целью производят измерение шага и половины угла профиля по левой и правой сторонам профиля резьбы?
12. Как дается заключение о годности резьбы при комплексном и поэлементном методах контроля?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЬБЫ

**Цель работы:** Приобретение практических навыков измерения элементов резьбы на инструментальном микроскопе.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### ***1.1. Назначение, описание конструкции, принципа действия и метрологические характеристики СИ***

Инструментальные микроскопы предназначены для измерения длин, углов, элементов резьб, конусов и различных профилей. Инструментальные микроскопы разделяются на малые – ММИ (рис. 15.1, *а*) и большие – БМИ (рис. 15.1, *б*), отличающиеся метрологическими параметрами.

На рис. Л15.1 приняты следующие обозначения: **1** – основание, **2** – микрометрическое устройство поперечной подачи, **3** – предметный стол, **4** – центровая бабка, **5** – кронштейн с тубусом, **6** – штриховая окулярная головка с отсчётным микроскопом угловой шкалы, **7** – кремальера перемещения кронштейна, **8** – фиксатор кронштейна, **9** – колонка, **10** – маховик наклона колонки, **11** – осветитель, **12** – микрометрическое устройство продольной подачи, **13** – винт поворота предметного стола.

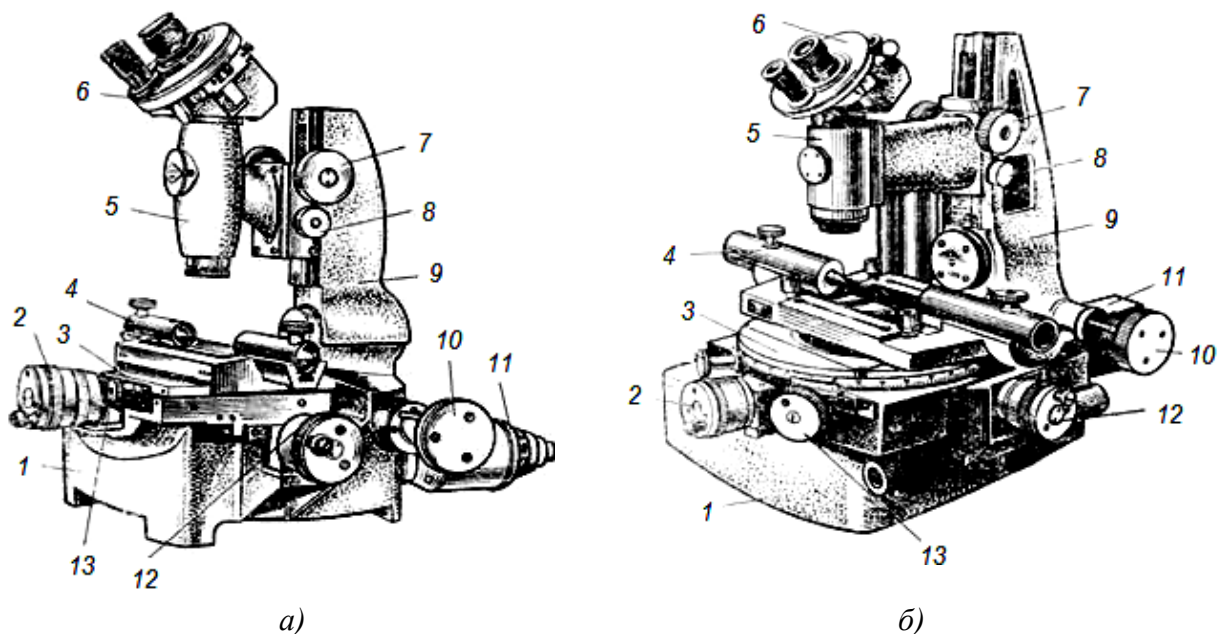


Рис. Л15.1 – Внешний вид инструментального микроскопа:  
а) малый инструментальный микроскоп (ММИ);  
б) большой инструментальный микроскоп (БМИ).

Принципиальная оптическая схема инструментального микроскопа представлена на рис. Л15.2.

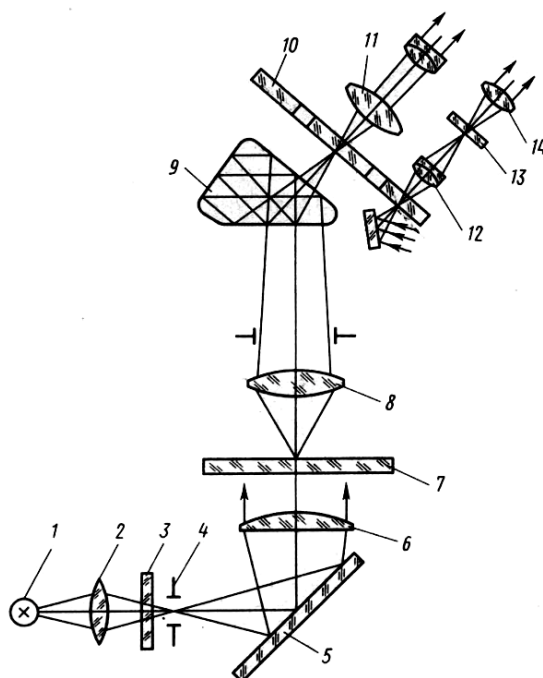


Рисунок Л15.2 – Оптическая схема микроскопа

Лучи света от лампы накаливания **1**, пройдя через линзу конденсора **2**, светофильтр **3** и диафрагму **4**, отражаются от поворотного зеркала **5** и через линзу **6** освещают измеряемый объект, помещенный на предметном столе **7** или закрепленный в центровых бабках. Изображение объекта измерения проектируется объективом **8** в фокальную плоскость окуляра **11**, где помещаются штриховая сетка **10** и жестко связанный с ней круговой лимб. Между объективом **8** и лимбом **10** для излома лучей помещена призма **9**. Изображение объекта измерения рассматривается через окуляр **11**. Отсчет по градусной шкале производится с помощью отсчетного микроскопа **12**. В фокальной плоскости окуляра **14** находится минутная шкала **13**.

Внутри корпуса головки находятся стеклянная пластина со штриховой сеткой и лимб, разделенный по окружности на 360 равных частей. Пластина со штриховой сеткой и лимб градусной шкалы жестко связаны между собой и имеют общий центр вращения, который находится на оптической оси микроскопа. Штриховая сетка (рис. Л15.3) наблюдается в центральный окуляр микроскопа, а градусная и минутная шкалы – в отсчетный угломерный микроскоп.

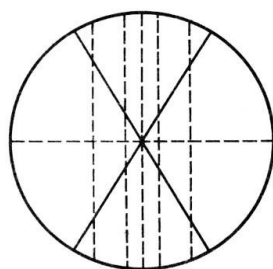


Рисунок Л15.3 – Штриховая сетка

Основные метрологические и технические характеристики инструментальных микроскопов представлены в табл. Л15.1

Таблица Л15.1 – Основные метрологические и технические характеристики инструментальных микроскопов

|                                                                               | ММИ            | БМИ                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Пределы измерения, мм<br>в продольном направлении<br>в поперечном направлении | 0-75<br>0-25   | 0-150<br>0-50                  |
| Пределы перемещения микрометрических винтов, мм                               | 0-25           |                                |
| Цена деления микрометрического устройства, мм                                 | 0,005          |                                |
| Увеличение микроскопа, кратн.                                                 | $10^x - 50^x$  |                                |
| Поле зрения, мм                                                               | 4,2-21         |                                |
| Пределы измерения угловых размеров, град.                                     | $0-60^\circ$   |                                |
| Цена деления окулярной угломерной головки, мин                                | 1'             |                                |
| Увеличение отсчетного устройства угловой шкалы                                | $45^x$         |                                |
| Поворот предметного стола                                                     | $\pm 5^\circ$  | $360^\circ$ с ценой деления 3' |
| Пределы наклона колонки                                                       | $\pm 10^\circ$ | $\pm 12^\circ 30'$             |

### ***1.2. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора***

При линейных измерениях после установки штриховой сетки в нулевое положение, измеряемое изделие ставят таким образом, чтобы одна из его сторон, от которой производится измерение, совпала с какой-либо штриховой линией сетки и при этом ведется первый отсчет по микрометрическому устройству. Затем изделие с предметным столом перемещается до совпадения стороны, до которой производится измерение, с этой же

штриховой линией сетки и вторично производится отсчет по микрометрическому устройству. Разность в отсчетах является результатом измерения. На рис. Л15.4 показания: I – 6,75 мм, II – 7,455 мм.

Результат измерения составляет:  $7,455 \text{ мм} - 6,75 \text{ мм} = 0,705 \text{ мм}$ .

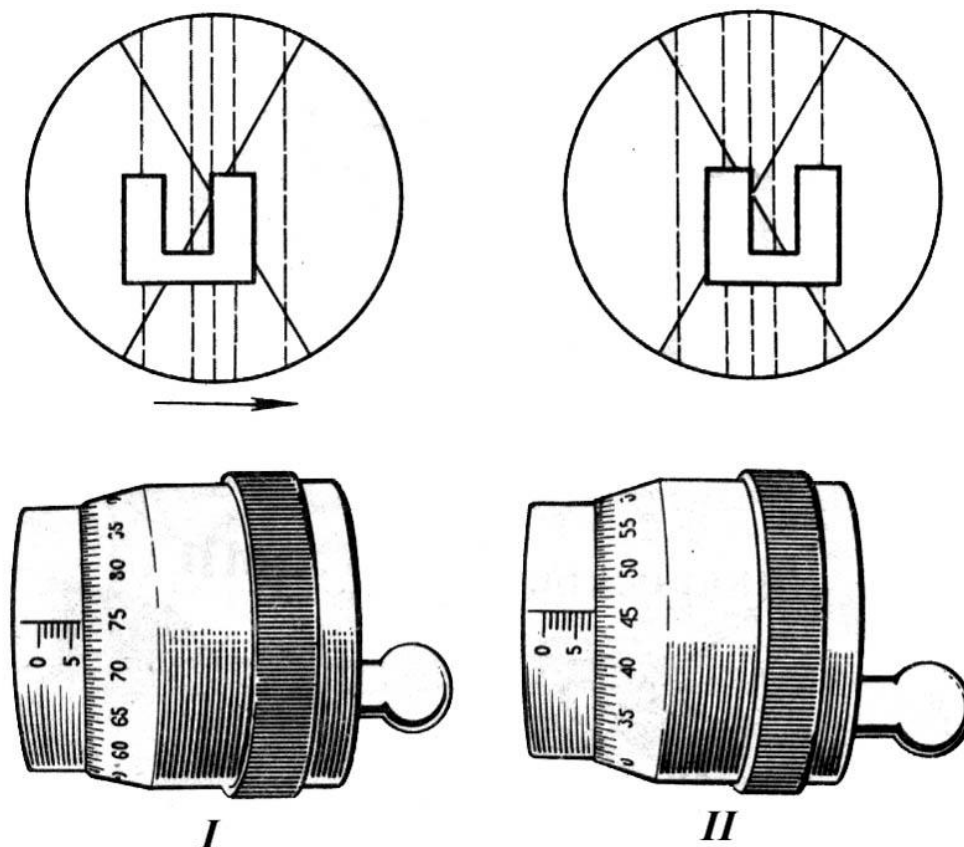


Рисунок Л15.4 – Проекция изделия на штриховой сетке и показания

При угловых измерениях изделие устанавливают таким образом, чтобы одна образующая его угла совпала с центральной штриховой линией сетки при совпадении вершины угла с оптической осью микроскопа. При этом в отсчетном угломерном микроскопе производится первый отсчет (желательно, чтобы он был равен нулю). Затем поворачивается штриховая сетка до совпадения ее центральной штриховой линии со второй образующей угла изделия и производится второй отсчет. Если первый отсчет равнялся нулю, то второй будет являться результатом измерения. На рис. Л15.5 показания: I – 0, II –  $38^{\circ}26'$ , следовательно, результат измерения –  $38^{\circ}26'$ .

Если первый отсчет не равнялся нулю, то надо вычесть его величину из второго отсчета и получить результат измерения (рис. Л15.5).

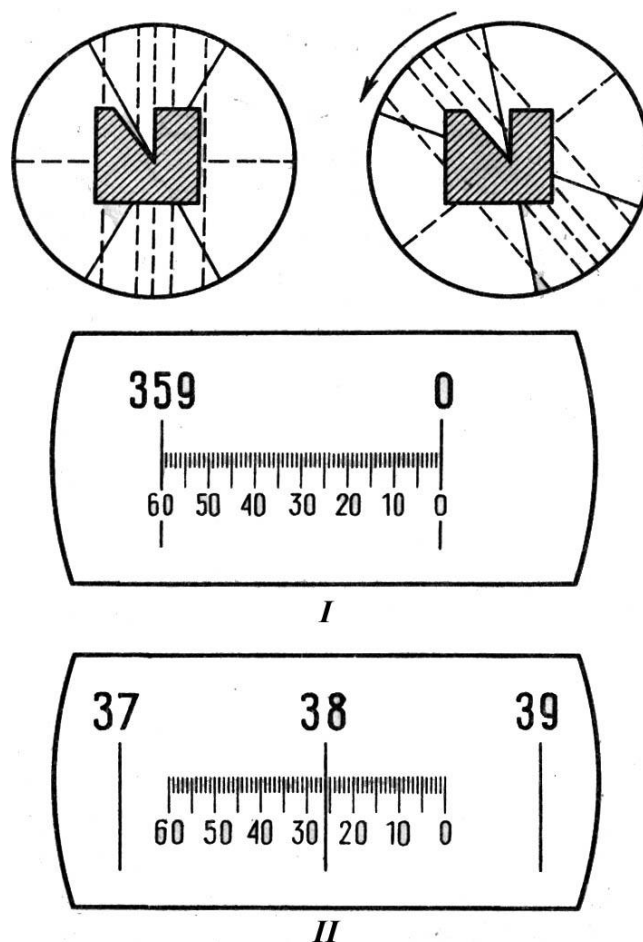


Рисунок Л15.5 – Проекция углового изделия на штриховой сетке

После предварительных действий по закреплению контрольного валика в центровые бабки, его точной установки и проверки параллельности линии центров продольному ходу стола надо в центры установить резьбовое изделие. Для получения резкого изображения резьбового профиля наклоняют колонку на угол, равный углу подъема резьбы изделия (рис. Л15.6).

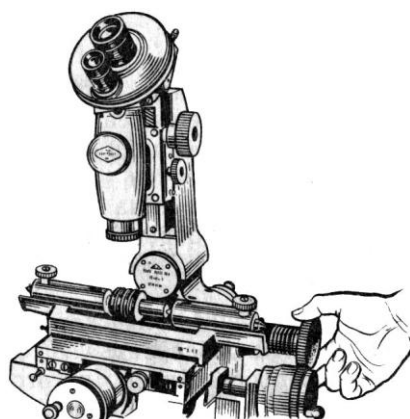


Рисунок Л15.6 – Наклон колонки на угол подъема резьбы

Затем совмещают центральную штриховую линию сетки с изображением стороны профиля резьбы, действуя при этом микровинтами поперечной и продольной подачи таким образом, чтобы штриховая линия, перпендикулярная центральной линии, делила измеряемую сторону профиля резьбы примерно пополам. Произведя отсчет по микрометрическому устройству поперечной подачи, перемещают стол с изделием в поперечном направлении до появления диаметрально противоположной параллельной стороны профиля резьбы.

Наклонив колонку на тот же угол, но в противоположную сторону, снова совмещают центральную штриховую линию со стороной профиля резьбы и производят вторичный отсчет. Разность между отсчетами является средним диаметром резьбы, измеренным по одной стороне профиля (рис. Л15.7).

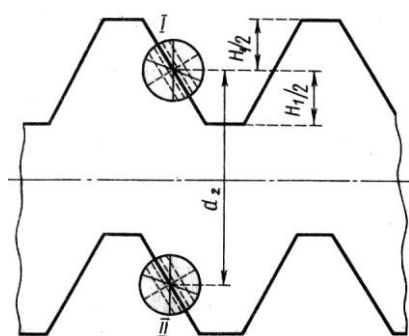


Рисунок Л15.7 – Схема измерения среднего диаметра резьбы

Для предостережения от погрешности из-за возможного перекоса осей изделия рекомендуется при измерении среднего диаметра резьбы произвести аналогичное измерение по другой стороне профиля и подсчитать среднее арифметическое результатов измерения (рис. Л15.8).

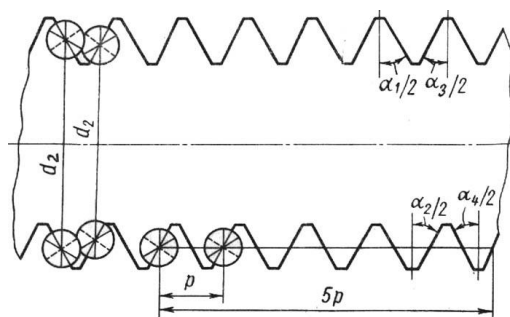


Рисунок Л15.8 – Схема измерения угла профиля резьбы по его половинам, шага резьбы по его одной величине и нескольким виткам, среднего диаметра резьбы по двум сторонам профиля

Для того чтобы можно было судить не только о величине угла, но и о наклоне профиля к оси резьбы, измерение рекомендуется производить по

половинам угла, совмещая штриховую линию сетки поочередно с правой и левой сторонами профиля. Сумма результатов измерения является величиной угла, а их равенство показывает перпендикулярность биссектрисы угла к оси резьбы.

Предварительно градусную шкалу устанавливают на 0, 90, 180 или 270°, чтобы одна из линий штриховой сетки была перпендикулярна оси резьбы и одно из указанных значений принимают за начало первого отсчета. Затем линию штриховой сетки, перпендикулярную оси резьбы, совмещают поочередно в противоположных направлениях правой стороны профиля, производя второй отсчет, и подсчитывают среднее значение  $(\alpha/2)_{\text{прав}} = (\alpha_3/2 + \alpha_4/2)/2$ . Аналогичные действия производят по левой стороне профиля  $(\alpha/2)_{\text{лев}} = (\alpha_1/2 + \alpha_2/2)/2$ .

Измерение шага резьбы производится продольным перемещением микровинта или с применением плоскопараллельных концевых мер, что исключает погрешность микровинта. При этом колонку наклоняют на угол подъема резьбы, совмещают с помощью микровинтов поперечного и продольного хода и вращения сетки окулярной головки штриховую линию сетки со стороной профиля и производят первый отсчет. Затем перемещают стол в продольном направлении до совпадения этой штриховой линии с соответствующей стороной профиля через один или несколько шагов резьбы, производят второй отсчет и узнают разность отсчетов. Для получения более точных результатов рекомендуется измерение шага производить по правым и левым сторонам профиля на двух противоположных сторонах (рис. Л15.9).

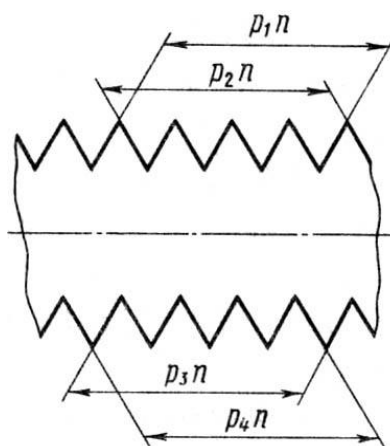


Рисунок Л15.9 – Измерение шага резьбы по правым и левым сторонам профиля на его противоположных сторонах

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить назначение, конструкцию, метрологические характеристики инструментального микроскопа.
2. Измерить заданные параметры. Результаты измерения занести в соответствующие таблицы.
3. Построить поле допуска среднего диаметра.
4. Сделать заключение о годности резьбовой детали по контролируемому параметру.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Указать метрологические характеристики применяемого средства измерения; определить основные значения элементов резьбы и занести их в табл. Л15.2, Л15.3.

Таблица Л15.2 – Метрологические характеристики средств измерения

| Наименование прибора | Проверяемый элемент резьбы | Цена деления | Пределы измерений прибора | Погрешность |
|----------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|-------------|
|                      |                            |              |                           |             |
|                      |                            |              |                           |             |
|                      |                            |              |                           |             |

Таблица Л15.3 – Технические характеристики измеряемой детали

| Наименование | Маркировка по ГОСТ | Наружный диаметр $d$ , мм | Средний диаметр $d_2$ , мм | Шаг $P$ , мм | Угол профиля $\alpha^\circ$ |
|--------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------|
|              |                    |                           |                            |              |                             |
|              |                    |                           |                            |              |                             |

2. Измерить шаг резьбы. Результаты измерений занести в табл. Л15.4.

Таблица Л15.4 – Результаты измерения шага резьбы

| Номинальное значение шага на длине свинчивания, $P=$ мм |                    |     |  |                    |     |                                                                            |
|---------------------------------------------------------|--------------------|-----|--|--------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------|
| Результаты измерения, мм                                |                    |     |  |                    |     |                                                                            |
| Параметр                                                | Отсчет, мм         |     |  |                    |     | Погрешность<br>$\delta P_{n \text{ лев}}$<br>$(\delta P_{n \text{ прав}})$ |
|                                                         | На втором витке    |     |  | На $(n+2)$ витке   |     |                                                                            |
| $P_{n \text{ лев}}$                                     | Показание прибора  | 1-е |  | Показание прибора  | 1-е |                                                                            |
|                                                         |                    | 2-е |  |                    | 2-е |                                                                            |
|                                                         | Разность показаний |     |  | Разность показаний |     |                                                                            |

Продолжение табл. Л15.4

|                                                                         |                    |     |  |                    |     |  |                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----|--|--------------------|-----|--|---------------------------------------------------------|
| Номинальное значение шага на длине свинчивания, $P=$ мм                 |                    |     |  |                    |     |  |                                                         |
| Результаты измерения, мм                                                |                    |     |  |                    |     |  |                                                         |
| Параметр                                                                | Отсчет, мм         |     |  |                    |     |  | Погрешность<br>$\delta P_n$ лев<br>( $\delta P_n$ прав) |
|                                                                         | На втором витке    |     |  | На $(n+2)$ витке   |     |  |                                                         |
| $P_n$ прав                                                              | Показание прибора  | 1-е |  | Показание прибора  | 1-е |  |                                                         |
|                                                                         |                    | 2-е |  |                    | 2-е |  |                                                         |
|                                                                         | Разность показаний |     |  | Разность показаний |     |  |                                                         |
| $\delta P_n =  \delta P_n \text{ прав} + \delta P_n \text{ лев} /2=$ мм |                    |     |  |                    |     |  |                                                         |
| $f_p = 1,732 \cdot \delta P_n =$ мм                                     |                    |     |  |                    |     |  |                                                         |

3. Измерить левую и правую половины угла профиля резьбы  $\alpha/2$  одного витка. Результаты измерений занести в табл. Л15.5.

Таблица Л15.5 – Результаты измерения угла профиля резьбы

| Номинальное значение половины угла профиля резьбы $\alpha/2=$ град                         |  |                                                                     |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------|--|
| Показания прибора, град. и мин.                                                            |  |                                                                     |  |
| По левой грани                                                                             |  | По правой грани                                                     |  |
| $\alpha/2_I$                                                                               |  | $\alpha/2_{III}$                                                    |  |
| $\alpha/2_{II}$                                                                            |  | $\alpha/2_{IV}$                                                     |  |
| $\alpha/2_{\text{лев}} = (\alpha/2_I + \alpha/2_{II})/2$                                   |  | $\alpha/2_{\text{прав}} = (\alpha/2_{III} + \alpha/2_{IV})/2$       |  |
| $\delta \alpha/2_{\text{лев}} = \alpha/2 - \alpha/2_{\text{лев}}$                          |  | $\delta \alpha/2_{\text{прав}} = \alpha/2 - \alpha/2_{\text{прав}}$ |  |
| $\delta \alpha/2 = ( \delta \alpha/2_{\text{лев}}  +  \delta \alpha/2_{\text{прав}} )/2 =$ |  |                                                                     |  |
| $f_\alpha = 0,00029 \cdot P \cdot \delta \alpha/2 =$ мм                                    |  |                                                                     |  |

4. Измерить средний диаметр резьбы  $d_2$ , результаты измерений занести в таблицу Л15.6.

Таблица Л15.6 – Результаты измерения среднего диаметра резьбы

| Измерение                                |     | По левой грани      | По правой грани      | Обработка результатов измерения                        |
|------------------------------------------|-----|---------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|
| Показания прибора, мм                    | 1-е |                     |                      | $d_2 = \frac{d_{2\text{прав}} + d_{2\text{лев}}}{2} =$ |
|                                          | 2-е |                     |                      |                                                        |
| Средний диаметр (разность показаний), мм |     | $d_{2 \text{ лев}}$ | $d_{2 \text{ прав}}$ |                                                        |

5. Из табл. табл. В.2 прил. В для измеряемой резьбы определить предельные отклонения среднего диаметра резьбы  $d_2$ .

6. Нарисовать схему расположения полей допусков для среднего диаметра резьбы  $d_2$ .

7. Дать заключение о годности, сравнивая полученные действительные значения основных элементов резьбы с допускаемыми.

8. Оформить отчет по работе (прил. Г).

#### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Назначение резьбы?
2. Обозначение резьбы на чертежах?
3. Какие основные элементы проверяемой резьбы регламентированы предельными отклонениями по стандарту?
4. Что такое приведенный средний диаметр резьбы?
5. Что такое диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля и как их определить?
6. Назначение комплексного и поэлементного методов контроля?
7. Какие средства измерений используются для комплексного контроля параметров резьб?
8. Какие средства измерений используются для поэлементного контроля параметров резьб? Привести их основные метрологические характеристики?
9. С какой целью измеряют половину угла профиля, а не целый угол?
10. Как выбирается диаметр проволочек?
11. С какой целью производят измерение шага и половины угла профиля по левой и правой сторонам профиля резьбы?
12. Как дается заключение о годности резьбы при комплексном и поэлементном методах контроля?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нормирование геометрических характеристик изделий: современный подход: учеб. пособие / И.Е. Парфеньева, С.А. Зайцев, О.Ф. Вячеславова. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 270 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=908746>.
2. Карпенко В.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебное пособие / В.А. Карпенко, Н.А. Волошина, С.П. Волков – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007 – 372 с.
3. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник [в 2-х ч.]. – 8-е изд., перераб. и доп. / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – СПб.: Изд-во «Политехника», 2001. – Ч.1. – 576с., Ч.2. – 608 с.
4. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений /И.М. Белкин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 368 с.
5. Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Резьбовые соединения, шпоночные и шлицевые соединения, конические соединения (часть 2): метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2017. – 100 с.
6. Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Форма, ориентация, месторасположение и биение поверхностей. Шероховатость поверхности (часть 4): метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 96 с.
7. Лабораторный практикум (часть 1): метод. указания к выполнению лабораторных работ / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 104 с.
8. ГОСТ 31254 – 2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения. Введ. 01.07.2005. – М.: Стандартиформ, 2005. – 8с.
9. ГОСТ Р 53442 – 2015. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения. Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартиформ, 2010. – 47 с.
10. ГОСТ 17353 – 89 Приборы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения. Типы. Общие технические требования. Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 8 с.
11. ГОСТ 10197 – 70 Стойки и штативы для измерительных головок. Технические условия. Введ. 01.01.72. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 17 с.
12. ГОСТ 24643 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 10 с.

13. ГОСТ 2.308 – 2011. ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей. Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартиформ, 2012. – 25 с.

14. ГОСТ 30893.2 – 2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения не указанные индивидуально. Введ. 01.01.2004. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 10 с.

15. ГОСТ 25142 – 82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. Введ. 01.01.83. – М.: Стандартиформ, 2018. – 15 с.

16. ГОСТ 2789 – 73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.

17. ГОСТ 2.309 – 73. ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей. Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 10 с.

18. ГОСТ 8908 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.

19. ГОСТ 25548 – 82. Основные нормы взаимозаменяемости. Конусы и конические соединения. Термины и определения. Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 30 с.

20. ГОСТ Р 53440 – 2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Нормальные конусности и углы конусов. Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартиформ, 2010. – 8 с.

21. ГОСТ 25557 – 2016. Конусы инструментальные. Основные размеры. Введ. 01.01.2018. – М.: Стандартиформ, 2017. – 10 с.

22. ГОСТ 25346 – 2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартиформ, 2014. – 38 с.

23. ГОСТ 24642 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 110 с.

24. ГОСТ 25347 – 2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов. Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартиформ, 2014. – 54 с.

25. ГОСТ 2848 – 75. Конусы инструментов. Допуски. Методы и средства контроля. Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 13 с.

26. ГОСТ 2875 – 88. Меры плоского угла призматические. Общие технические условия. Введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.

27. ГОСТ 3749 – 77. Угольники поверочные 90. Технические условия. Введ. 01.01.1978. – М.: Стандартиформ, 2008. – 9 с.

28. ГОСТ 24932 – 81. Калибры для конических соединений. Допуски. Введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

29. ГОСТ 5378 – 88. Угломеры с нониусом. Технические условия. Введ. 01.01.90. – М.: Стандартиформ, 2010. – 7 с.
30. ГОСТ 9392 – 89. Уровни рамные и брусковые. Технические условия. Введ. 01.01.91. – М.: Стандартиформ, 2008. – 6с.
31. ГОСТ 11196 – 74. Уровни с микрометрической подачей ампулы. Технические условия. Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7с.
32. ГОСТ 4046 – 80. Линейки синусные. Технические условия. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.
33. ГОСТ 7470 – 92. Глубиномеры микрометрические. Технические условия. Введ. 01.01.93 – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 9 с.
34. ГОСТ 10905 – 86. Плиты поверочные и разметочные. Технические условия. Введ. 01.01.1987. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 9 с.
35. ГОСТ 10197 – 70. Стойки и штативы для измерительных головок. Технические условия. Введ. 01.01.72. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 17с.
36. ГОСТ 9038 – 90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. Введ. 01.07.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 15 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### (справочное)

Таблица А.1 – Выбор средств измерений радиального и торцового биения поверхностей

| Допуск, мкм | Допускаемая погрешность измерения, мкм | Диапазоны диаметров измеряемых поверхностей, мм     |                                                  |                                                  |                            |
|-------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
|             |                                        | до 50                                               | св. 50 до 80                                     | св. 80 до 160                                    | св. 160 до 250             |
|             |                                        | Средства измерений – по <a href="#">таблице А.2</a> |                                                  |                                                  |                            |
| 1,0         | 0,35                                   | 17Г, 18В, 22Д, 24Г, 26Г, 7В, 36У                    | 17Г, 18В, 22Д, 24Г, 26Г, 27В, 36У                | –                                                | –                          |
| 1,2         | 0,4                                    | 17В, 18В, 22Г, 23В, 24В, 25Г, 26В, 27В, 36У         | 17В, 18В, 22Г, 23В, 24В, 25Г, 26В, 27В, 36У      | 17В, 18В, 22Д, 23В, 24Г, 25Г, 26В, 27В, 36У      | –                          |
| 1,6         | 0,6                                    | 16Г, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т    | 16Г, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т | 16Г, 17В, 21Д, 22Г, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т | –                          |
| 2,0         | 0,7                                    | 16Г, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т    | 16Г, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т | 16Г, 17В, 21Д, 22Г, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т | 22Г, 23Б, 24В, 36Т         |
| 2,5         | 0,9                                    | 10В, 16В, 21Г, Ж, 22В, 23Б, 25В, 26В, 29Г, 36Т      | 10В, 16В, 21Д, Ж, 22В, 23Б, 25В, 26В, 29Г, 36Т   | 16В, 21Д, Ж, 22В, 23Б, 24В, 25В, 29Г, 36Т        | 21Д, Ж, 22В, 23Б, 24В, 36Т |
| 3,0         | 1,0                                    | 10В, 15Г, 16В, 21Г, Ж, 22В, 23Б, 29Г, 36Т           | 10В, 15Г, 16В, 21Г, Ж, 22В, 23Б, 29Г, 36Т        | 15Г, 16В, 21Г, Ж, 22В, 23Б, 24В, 29В, 36Т        | 21Г, Ж, 22В, 23Б, 24В, 36Т |
| 4,0         | 1,4                                    | 9В, 10В, 15Г, 16В, 21В, Е, 29В, 36С                 | 9В, 10В, 15Г, 16В, 21В, Е, 29Г, 36С              | 10В, 15Г, 16В, 21В, Е, 22В, 23Б, 29Г, 36С        | 10В, 21В, Е, 22В, 23Б, 36С |
| 5,0         | 1,8                                    | 9В, 10В, 15В, 20Г, 21В, Е, 29В, 36С                 | 9В, 10В, 15В, 20Г, 21В, Е, 29В, 36С              | 9В, 10В, 15В, 20Г, 21В, Е, 29В, 36С              | 9В, 10В, 20Г, 21В, Е, 36С  |
| 6,0         | 2,0                                    | 9В, 10В, 11Е, 12Г, 15В, 20Г, 21В, Е, 29В, 36С       | 9В, 10В, 11Е, 12Г, 15В, 20Г, 21В, Е, 29В, 36С    | 9В, 10В, 11Е, 12Г, 15В, 20Г, 21В, Е, 29В, 36С    | 9В, 10В, 20Г, 21В, Е, 36С  |
| 8,0         | 3,0                                    | 9В, 10В, 11Е, 12В, 14Г, 15В, 20В, 29А, 36Р          | 9В, 10В, 11Е, 12В, 14Г, 15В, 20В, 29А, 36Р       | 9В, 10В, 11Е, 12В, 14Г, 15В, 20В, 29А, 36Р       | 9В, 10В, 12В, 20В, 36Р     |
| 10          | 3,5                                    | 9В, 10В, 11Е, 12В, 14Г, 20В, 29А, 36Р               | 9В, 10В, 11Е, 12В, 14Г, 20В, 29А, 36Р            | 9В, 10В, 11Е, 12В, 14Г, 20В, 29А, 36Р            | 9В, 10В, 12В, 20В, 36Р     |
| 12          | 4,0                                    | 9В, 10В, 11Е, 12В, 13Г, 14В, 20В, 29А, 36Р          | 9В, 10В, 11Е, 12В, 13Г, 14В, 20В, 29А, 36Р       | 9В, 10В, 11Е, 12В, 13Г, 14В, 20В, 29А, 36Р       | 9В, 10В, 12В, 36Р          |
| 16          | 6,0                                    | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 12В, 13В, 14Г, 29А             | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 12В, 13В, 14Г, 29А          | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 12В, 13В, 14Г, 29А          | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 12В   |
| 20          | 7,0                                    | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 13В, 14Г                       | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 13В, 14Г                    | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г, 13В, 14Г                    | 7Р, Х, 9В, 10В, 11Г        |
| 25          | 9,0                                    | 7П, 11Г, 13В                                        | 7П, 11Г, 13В                                     | 7П, 11Г, 13В                                     | 7П, 11Г                    |
| 30          | 9,0                                    | 7П, 11Г, 13В                                        | 7П, 11Г, 13В                                     | 7П, 11Г, 13В                                     | 7П, 11Г                    |
| 40          | 12                                     | 7П, 8Б, 11Г, 13В                                    | 7П, 8Б, 11Г, 13В                                 | 7П, 8Б, 11Г, 13В                                 | 7П, 8Б, 11Г                |
| 50          | 15                                     | 7П, 8А                                              | 7П, 8А                                           | 7П, 8А                                           | 7П, 8А                     |
| 60          | 18                                     | 7П, 8А                                              | 7П, 8А                                           | 7П, 8А                                           | 7П, 8А                     |
| 80          | 20                                     | 7П, 8А                                              | 7П, 8А                                           | 7П, 8А                                           | 7П, 8А                     |
| 100         | 25                                     | 7О, 8А                                              | 7О, 8А                                           | 7О, 8А                                           | 7О, 8А                     |

Таблица А.2 – Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров, биений и глубин универсальными измерительными средствами

| Номер для табл. А1 | Средства измерений                                                                                                   | Варианты использования | Предельные погрешности измерения, мкм для диапазона размеров, мм |      |       |       |       |        |         |  |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|---------|--|
|                    | Наименование и случаи применения                                                                                     |                        |                                                                  |      |       |       |       |        |         |  |
| 1                  | 2                                                                                                                    | 3                      | 4                                                                |      |       |       |       |        |         |  |
|                    |                                                                                                                      |                        | 1-3                                                              | 3-10 | 10-18 | 18-50 | 50-80 | 80-120 | 120-180 |  |
| 7                  | Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1                | а                      | 15                                                               | 15   | 15    | 16    | 18    | 20     | 22      |  |
|                    |                                                                                                                      | б                      | 12                                                               | 13   | 13    | 14    | 15    | 18     | 20      |  |
|                    |                                                                                                                      | в                      | 10                                                               | 10   | 10    | 10    | 12    | 12     | 12      |  |
|                    |                                                                                                                      | г                      | 8                                                                | 8    | 8     | 8     | 8     | 8      | 8       |  |
|                    |                                                                                                                      | д                      | 5                                                                | 5    | 5     | 5     | 6     | 6      | 6       |  |
| 8                  | Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений 0,08 мм при измерении биения                | а                      | 15                                                               |      |       |       |       |        |         |  |
|                    |                                                                                                                      | б                      | 10                                                               |      |       |       |       |        |         |  |
|                    |                                                                                                                      | в                      | 5                                                                |      |       |       |       |        |         |  |
|                    |                                                                                                                      |                        | до 10                                                            |      | 10-30 | 30-50 |       | 50-80  |         |  |
| 9                  | Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,01$ мм, с настройкой по концевым мерам | а                      | 3                                                                |      | 3,5   | 3,5   |       | 4      |         |  |
|                    | То же, с настройкой на нулевое деление                                                                               | б                      | 1,4                                                              |      | 1,5   | 1,6   |       | 1,8    |         |  |
| 10                 | Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм, с настройкой по концевым мерам | а                      | 2                                                                |      | 2     | 2     |       | 2      |         |  |
|                    | То же, с настройкой на нулевое деление                                                                               | б                      | 0,8                                                              |      | 0,8   | 0,8   |       | 0,8    |         |  |
|                    |                                                                                                                      |                        | до 3                                                             | 3-6  | 6-10  | 10-18 | 18-30 | 30-50  |         |  |
| 11                 | Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм                                         | а                      | 5                                                                | 5    | 5     | 6     | 6     | 7      |         |  |
|                    |                                                                                                                      | б                      | 5                                                                | 5    | 5     | 5     | 5     | 5      |         |  |
|                    |                                                                                                                      | в                      | 3                                                                | 3    | 3     | 4     | 4     | 4      |         |  |
| 12                 | Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм                                         | а                      | 3                                                                | 3    | 3     | 3     | 3     | 3      |         |  |
|                    |                                                                                                                      | б                      | 2                                                                | 2    | 2,2   | 2,5   | 2,5   | 2,5    |         |  |

| Номер<br>для<br>табл.<br>А1 | Средства измерений                                                                                                   | Варианты<br>использования | Предельные погрешности измерения, мкм<br>для диапазона размеров, мм |              |              |              |              |            |            |            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|
|                             | Наименование и<br>случаи применения                                                                                  |                           |                                                                     |              |              |              |              |            |            |            |
| 1                           | 2                                                                                                                    | 3                         | 4                                                                   |              |              |              |              |            |            |            |
|                             |                                                                                                                      |                           | до 6                                                                | 6-10         | 10-18        | 18-30        | 30-50        |            |            |            |
| 13                          | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления – 0,01 мм и пределом измерений $\pm 0,3$ мм            | a<br>б                    | 6<br>4                                                              | 6<br>4       | 7<br>4       | 7<br>5       | 7<br>5       |            |            |            |
| 14                          | Микрокаторы с ценой деления 0,005 мм и пределом измерений $\pm 0,15$ мм                                              | a<br>б                    | 5<br>3                                                              | 5<br>3       | 5<br>3       | 5<br>3       | 6<br>3       |            |            |            |
| 15                          | Микрокаторы с ценой деления 0,002 мм и пределом измерений $\pm 0,06$ мм                                              | a<br>б                    | 1,5<br>1,0                                                          | 1,5<br>1,0   | 1,5<br>1,5   | 1,5<br>1,5   | 2<br>1,5     |            |            |            |
| 16                          | Микрокаторы с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений $\pm 0,03$ мм                                              | a<br>б                    | 0,7<br>0,6                                                          | 0,8<br>0,6   | 0,9<br>0,7   | 1,0<br>0,8   | 1,0<br>0,8   |            |            |            |
| 17                          | Микрокаторы с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений $\pm 0,015$ мм                                            | a<br>б                    | 0,50<br>0,40                                                        | 0,50<br>0,40 | 0,60<br>0,50 | 0,60<br>0,50 | 0,60<br>0,50 |            |            |            |
| 18                          | Микрокаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений $\pm 0,006$ мм                                            | a<br>б                    | 0,30<br>0,30                                                        | 0,30<br>0,30 | 0,40<br>0,35 | 0,40<br>0,35 | 0,40<br>0,35 |            |            |            |
|                             |                                                                                                                      |                           | до 6                                                                | 6-10         | 10-18        | 18-30        | 30-50        | 50-80      | 80-120     | 120-180    |
| 20                          | Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерений $\pm 0,1$ мм | a<br>б                    | 2,5<br>1,5                                                          | 2,5<br>1,5   | 3,0<br>1,5   | 3,0<br>1,5   | 3,0<br>1,5   | 3,5<br>2   | 4,5<br>2   | 4,5<br>2   |
| 21                          | Микаторы с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений $\pm 0,05$ мм                                                 | a<br>б                    | 1,2<br>0,7                                                          | 1,2<br>0,7   | 1,5<br>0,8   | 1,5<br>0,9   | 1,5<br>0,8   | 2<br>1     | 2<br>1,2   | 2<br>1,2   |
| 22                          | Микаторы с нормальным измерительным усилием, с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений $\pm 0,025$ мм           | a<br>б                    | 0,7<br>0,4                                                          | 0,7<br>0,5   | 0,8<br>0,6   | 0,9<br>0,7   | 0,8<br>0,6   | 0,9<br>0,7 | 1,1<br>0,8 | 1,0<br>0,7 |

| Номер<br>для<br>табл.<br>А1 | Средства измерений                                                                                                                                                                                   | Варианты<br>использования | Предельные погрешности измерения, мкм<br>для диапазона размеров, мм |              |              |            |              |            |              |            |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                             | Наименование и<br>случаи применения                                                                                                                                                                  |                           |                                                                     |              |              |            |              |            |              |            |
| 1                           | 2                                                                                                                                                                                                    | 3                         | 4                                                                   |              |              |            |              |            |              |            |
| 23                          | Микаторы с уменьшенным измерительным усилием, с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений ±0,025 мм                                                                                               | а                         | 0,6                                                                 | 0,7          | 0,7          | 0,8        | 0,8          | 0,8        | 1,0          | 1,0        |
| 24                          | Микаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений ±0,01 мм                                                                                                                                     | а<br>б                    | 0,45<br>0,30                                                        | 0,50<br>0,35 | 0,5<br>0,4   | 0,6<br>0,5 | 0,6<br>0,5   | 0,7<br>0,6 | 1,0<br>0,8   | 1,0<br>0,7 |
|                             |                                                                                                                                                                                                      |                           | до 10                                                               |              | 10-18        |            | 18-30        |            | 30-50        |            |
| 25                          | Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений 0,25мм                                                                                          | а<br>б                    | 0,90<br>0,60                                                        |              | 1,00<br>0,70 |            | 1,00<br>0,80 |            | 1,00<br>0,80 |            |
| 26                          | Оптикаторы с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений 0,1 мм                                                                                                                                     | а<br>б                    | 0,50<br>0,35                                                        |              | 0,60<br>0,40 |            | 0,60<br>0,50 |            | 0,60<br>0,50 |            |
| 27                          | Оптикаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений 0,05 мм                                                                                                                                    | а<br>б                    | 0,30<br>0,25                                                        |              | 0,30<br>0,30 |            | 0,35<br>0,30 |            | 0,35<br>0,30 |            |
| 29                          | Головки измерительные рычажно-пружинные с ценой деления 0,001 (0,002) мм и пределом измерений ±0,04 (±0,08) мм при измерении биения                                                                  | а<br>б<br>в<br>г          | 3<br>2<br>1<br>0,5                                                  |              |              |            |              |            |              |            |
| 36                          | Приборы показывающие с индуктивными преобразователями с переменной ценой деления: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мкм и пределами измерения: ±3; ±6; ±15; ±30 и ±60 мкм при работе с одним преобразователем | р<br>с<br>т<br>у          | 2,2<br>1,1<br>0,55<br>0,25                                          |              |              |            |              |            |              |            |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное)

Таблица Б.1 – Нормальные углы (ГОСТ 8908-81)

| Ряды |     |       |     |     |     | Ряды |     |     |      |   |      |
|------|-----|-------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|---|------|
| 1    | 2   | 3     | 1   | 2   | 3   | 1    | 2   | 3   | 1    | 2 | 3    |
| 0°   |     |       | 5°  |     |     | 30°  |     |     |      |   | 80°  |
|      |     | 15′   |     | 6°  |     |      |     | 35° |      |   | 85°  |
|      | 30′ |       |     | 7°  |     |      | 40° |     |      |   |      |
|      |     | 45′   |     | 8°  |     | 45°  |     |     | 90°  |   | 100° |
|      | 1°  |       |     |     | 9°  |      |     | 50° |      |   | 110° |
|      |     | 1°30′ |     | 10° |     |      |     | 55° | 120° |   |      |
|      | 2°  |       |     |     | 12° | 60°  |     |     |      |   | 135° |
|      |     | 2°30′ | 15° |     |     |      |     | 65° |      |   | 150° |
|      | 3°  |       |     |     | 18° |      |     | 70° |      |   | 165° |
|      | 4°  |       | 20° |     |     |      | 75° |     |      |   | 180° |
|      |     |       |     |     | 22° |      |     |     |      |   | 270° |
|      |     |       |     |     | 25° |      |     |     |      |   | 360° |

**Примечание.** При выборе углов ряд 1 следует предпочитать ряду 2, а ряд 2 ряду 3.

Таблица Б.2 – Допуски углов (по ГОСТ 8908 – 81)

| Интервал<br>длин<br>$L, L_1, \text{мм}$ | Степень точности |              |                      |             |              |                      |             |              |                      |
|-----------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|
|                                         | $AT1$            |              |                      | $AT2$       |              |                      | $AT3$       |              |                      |
|                                         | $AT_\alpha$      | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) |
|                                         | мкрад            | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  |
| До 10                                   | 50               | 10"          | ...0,5               | 80          | 16"          | ...0,8               | 125         | 26"          | ...1,3               |
| Св.10 до 16                             | 40               | 8"           | 0,4...0,6            | 63          | 12"          | 0,6...1,0            | 100         | 20"          | 1,0...1,6            |
| » 16 » 25                               | 31,5             | 6"           | 0,5...0,8            | 50          | 10"          | 0,8...1,3            | 80          | 16"          | 1,3...2,0            |
| » 25 » 40                               | 25               | 5"           | 0,6...1,0            | 40          | 8"           | 1,0...1,6            | 63          | 12"          | 1,6...2,5            |
| » 40 » 63                               | 20               | 4"           | 0,8...1,3            | 31,5        | 6"           | 1,3...2,0            | 50          | 10"          | 2,0...3,2            |
| » 63 » 100                              | 16               | 3"           | 1,0...1,6            | 25          | 5"           | 1,6...2,5            | 40          | 8"           | 2,5...4,0            |
| »100 » 160                              | 12,5             | 2,5"         | 1,3...2,0            | 20          | 4"           | 2,0...3,2            | 31,5        | 6"           | 3,2...5,0            |
| »160 » 250                              | 10               | 2"           | 1,6...2,5            | 16          | 3"           | 2,5...4,0            | 25          | 5"           | 4,0...6,3            |
| »250 » 400                              | 8                | 1,5"         | 2,0...3,2            | 12,5        | 2,5"         | 3,2...5,0            | 20          | 4"           | 5,0...8,0            |

Продолжение таблицы Б.2

| Интервал<br>длин<br>$L, L_1, \text{мм}$ | Степень точности |              |                      |             |              |                      |             |              |                      |
|-----------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|
|                                         | $AT4$            |              |                      | $AT5$       |              |                      | $AT6$       |              |                      |
|                                         | $AT_\alpha$      | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) |
|                                         | мкрад            | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  |
| До 10                                   | 200              | 40"          | ...2,0               | 315         | 1'           | ...3,2               | 500         | 1'40"        | ...5                 |
| Св. 10 до 16                            | 160              | 32"          | 1,6...2,5            | 250         | 50"          | 2,5...4              | 400         | 1'20"        | 4...6,3              |
| » 16 » 25                               | 125              | 26"          | 2,0...3,2            | 200         | 40"          | 3,2...5              | 315         | 1'           | 5...8                |
| » 25 » 40                               | 100              | 20"          | 2,5...4,0            | 160         | 32"          | 4...6,3              | 250         | 50"          | 6,3...10             |
| » 40 » 63                               | 80               | 16"          | 3,2...5,0            | 125         | 26"          | 5...8                | 200         | 40"          | 8...12,5             |
| » 63 » 100                              | 63               | 12"          | 4,0...6,3            | 100         | 20"          | 6,3...10             | 160         | 32"          | 10...16              |
| »100 » 160                              | 50               | 10"          | 5,0...8,0            | 80          | 16"          | 8...12,5             | 125         | 26"          | 12,5...20            |
| »160 » 250                              | 40               | 8"           | 6,3...10,0           | 63          | 12"          | 10...16              | 100         | 20"          | 16...25              |
| »250 » 400                              | 31,5             | 6"           | 8,0...12,5           | 50          | 10"          | 12,5...20            | 80          | 16"          | 20...32              |

Продолжение таблицы Б.2

| Интервал<br>длин<br>$L, L_1, \text{мм}$ | Степень точности |              |                      |             |              |                      |             |              |                      |
|-----------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|
|                                         | $AT7$            |              |                      | $AT8$       |              |                      | $AT9$       |              |                      |
|                                         | $AT_\alpha$      | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) |
|                                         | мкрад            | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  |
| До 10                                   | 800              | 2'30"        | ...8                 | 1250        | 4'           | ...12,5              | 2000        | 6'           | ...20                |
| Св. 10 до 16                            | 630              | 2'           | 6,3...10             | 1000        | 3'           | 10...16              | 1600        | 5'           | 16...25              |
| » 16 » 25                               | 500              | 1'40"        | 8...12,5             | 800         | 2'30"        | 12,5...20            | 1250        | 4'           | 20...32              |
| » 25 » 40                               | 400              | 1'20"        | 10...16              | 630         | 2'           | 16...23              | 1000        | 3'           | 25...40              |
| » 40 » 63                               | 315              | 1'           | 12,5...20            | 500         | 1'40"        | 20...32              | 800         | 2'30"        | 32...50              |
| » 63 » 100                              | 250              | 50"          | 16...25              | 400         | 1'20"        | 25...40              | 630         | 2'           | 40...63              |
| »100 » 160                              | 200              | 40"          | 20...32              | 315         | 1'           | 32...50              | 50          | 1'40"        | 50...80              |
| »160 » 250                              | 160              | 32"          | 25...40              | 250         | 50"          | 40...63              | 400         | 1'20"        | 63...100             |
| »250 » 400                              | 125              | 23"          | 32...50              | 200         | 40"          | 50...80              | 315         | 1'           | 80...125             |

Продолжение таблицы Б.2

| Интервал<br>длин<br>$L, L_I, \text{мм}$ | Степень точности |              |                      |             |              |                      |             |              |                      |
|-----------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|
|                                         | $AT_{10}$        |              |                      | $AT_{11}$   |              |                      | $AT_{12}$   |              |                      |
|                                         | $AT_\alpha$      | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) |
|                                         | мкрад            | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  |
| До 10                                   | 3150             | 10'          | ...32                | 5000        | 16'          | ...50                | 8000        | 26'          | ...80                |
| Св. 10 до 16                            | 2500             | 8'           | 25...40              | 4000        | 12'          | 40...63              | 6300        | 20'          | 63...100             |
| » 16 » 25                               | 2000             | 6'           | 32...50              | 3150        | 10'          | 50...80              | 5000        | 16'          | 80...125             |
| » 25 » 40                               | 1600             | 5'           | 40...63              | 2500        | 8'           | 63...100             | 4000        | 12'          | 100...160            |
| » 40 » 63                               | 1250             | 4'           | 50...80              | 2000        | 6'           | 80...125             | 3150        | 10'          | 125...200            |
| » 63 » 100                              | 1000             | 3'           | 63...100             | 1600        | 5'           | 100...160            | 2500        | 8'           | 160...250            |
| »100 » 160                              | 8000             | 2'30"        | 80...125             | 1250        | 4'           | 125...200            | 2000        | 6'           | 200...320            |
| »160 » 250                              | 630              | 2'           | 100...160            | 1000        | 3'           | 160...250            | 1600        | 5'           | 250...400            |
| »250 » 400                              | 500              | 1'40"        | 125...200            | 800         | 2'30"        | 200...320            | 1250        | 4'           | 320...500            |

Продолжение таблицы Б.2

| Интервал<br>длин<br>$L, L_I, \text{мм}$ | Степень точности |              |                      |             |              |                      |             |              |                      |
|-----------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|
|                                         | $AT_{13}$        |              |                      | $AT_{14}$   |              |                      | $AT_{15}$   |              |                      |
|                                         | $AT_\alpha$      | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) |
|                                         | мкрад            | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  |
| До 10                                   | 12500            | 40'          | ...125               | 20000       | 1°           | ...200               | 31500       | 1° 40'       | ...320               |
| Св. 10 до 16                            | 10000            | 32'          | 100...160            | 16000       | 50'          | 160...250            | 25000       | 1° 20'       | 250...400            |
| » 16 » 25                               | 8000             | 26'          | 125...200            | 12500       | 40'          | 200...320            | 20000       | 1°           | 320...500            |
| » 25 » 40                               | 6300             | 20'          | 160...250            | 10000       | 32'          | 250...400            | 16000       | 50'          | 400...630            |
| » 40 » 63                               | 5000             | 16'          | 200...320            | 8000        | 26'          | 320...500            | 12500       | 40'          | 500...800            |
| » 63 » 100                              | 4000             | 12'          | 250...400            | 6300        | 20'          | 400...630            | 10000       | 32'          | 630...1000           |
| »100 » 160                              | 3150             | 10'          | 320...500            | 5000        | 16'          | 500...800            | 8000        | 26'          | 800...1250           |
| »160 » 250                              | 2500             | 8'           | 400...630            | 4000        | 12'          | 630...1000           | 6300        | 20'          | 1000...1600          |
| »250 » 400                              | 2000             | 6'           | 500...800            | 3150        | 10'          | 800...1250           | 5000        | 16'          | 1250...2000          |

Продолжение таблицы Б.2

| Интервал<br>длин<br>$L, L_I, \text{мм}$ | Степень точности |              |                      |             |              |                      |
|-----------------------------------------|------------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|----------------------|
|                                         | $AT_{16}$        |              |                      | $AT_{17}$   |              |                      |
|                                         | $AT_\alpha$      | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) | $AT_\alpha$ | $AT'_\alpha$ | $AT_h$<br>( $AT_D$ ) |
|                                         | мкрад            | с            | мкм                  | мкрад       | с            | мкм                  |
| До 10                                   | 50000            | 2°           | ...0,5               | 80000       | 4°           | ...0,8               |
| Св. 10 до 16                            | 40000            | 1°           | 0,4...0,63           | 63000       | 2°           | 6,3...1              |
| » 16 » 25                               | 31500            | 1°           | 0,5...0,8            | 50000       | 2°           | 0,8...1,25           |
| » 25 » 40                               | 25000            | 1°           | 0,63...1             | 40000       | 2°           | 1...1,6              |
| » 40 » 63                               | 20000            | 40'          | 0,8...1,25           | 3150        | 1°20'        | 1,25...2             |
| » 63 » 100                              | 16000            | 40'          | 1...1,6              | 25000       | 1° 20'       | 1,6...2,5            |
| »100 » 160                              | 12500            | 40'          | 1,25...2             | 20000       | 1° 20'       | 2...3,2              |
| »160 » 250                              | 10000            | 20'          | 1,6...2,5            | 16000       | 40'          | 2,5...4              |
| »250 » 400                              | 8000             | 20'          | 2...3,2              | 12500       | 40'          | 3,2...5              |

Таблица Б.3 – Нормальные конусности и углы конусов (ГОСТ Р 53440-2009)

| Обозначение конуса |       | Конусность С |           | Угол конуса $\alpha$ |           |
|--------------------|-------|--------------|-----------|----------------------|-----------|
| Ряд 1              | Ряд 2 |              |           | Град., мин,<br>с     | рад       |
| 1:500              |       | 1:500        | 0,0020000 | 6'52,5"              | 0,0020000 |
| 1:200              |       | 1:200        | 0,0050000 | 17'11,3"             | 0,0050000 |
| 1:100              |       | 1:100        | 0,0100000 | 34'22,6"             | 0,0100000 |
| 1:50               |       | 1:50         | 0,0200000 | 1°8'45,2"            | 0,0199996 |
|                    | 1:30  | 1:30         | 0,0333333 | 1°54'34,9"           | 0,0333304 |
| 1:20               |       | 1:20         | 0,0500000 | 2°51'51,1"           | 0,0499896 |
|                    | 1:15  | 1:15         | 0,0666667 | 3°49'5,9"            | 0,0666420 |
|                    | 1:12  | 1:12         | 0,0833333 | 4°46'18,8"           | 0,0832852 |
| 1:10               |       | 1:10         | 0,1000000 | 5°43'29,3"           | 0,0999168 |
|                    | 1:8   | 1:8          | 0,1250000 | 7°9'9,6"             | 0,1248376 |
|                    | 1:7   | 1:7          | 0,1428571 | 8°10'16,4"           | 0,1426148 |
|                    | 1:6   | 1:6          | 0,1666667 | 9°31'38,2"           | 0,1662824 |
| 1:5                |       | 1:5          | 0,2000000 | 11°25'16,3"          | 0,1993374 |
|                    | 1:4   | 1:4          | 0,2500000 | 14°15'0,1"           | 0,2487100 |
| 1:3                |       | 1:3          | 0,3333333 | 18°55'28,7"          | 0,332972  |
| 30°                |       | 1:1,866025   | 0,5358985 | 30°                  | 0,5235988 |
| 45°                |       | 1:1,207107   | 0,8284269 | 45°                  | 0,7853982 |
| 60°                |       | 1:0,866025   | 1,1547010 | 60°                  | 1,0471976 |
|                    | 75°   | 1:0,651613   | 1,5346532 | 75°                  | 1,3089970 |
| 90°                |       | 1:0,500000   | 2,0000000 | 90°                  | 1,5707964 |
| 120°               |       | 1:0,288675   | 3,4641032 | 120°                 | 2,0943952 |

**Примечания:** 1. Значение конусности или угла конуса, указанные в графе «Обозначение конуса», приняты за исходные при расчете других значений, приведенных в таблице.

2. При выборе конусностей или углов конусов ряд 1 следует предпочитать ряду 2.

Таблица Б.4 – Размеры инструментальных конусов, мм (по ГОСТ 25557 – 2006)

| Наименование конуса |                       | Метрический   |     | Морзе                |                      |                      |                      |                      |                      |                      | Метрический   |       |       |       |       |
|---------------------|-----------------------|---------------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| Обозначение конуса  |                       | 4             | 6   | 0                    | 1                    | 2                    | 3                    | 4                    | 5                    | 6                    | 80            | 100   | 120   | 160   | 200   |
| Конусность          |                       | 1 : 20 = 0,05 |     | 1 : 19,212 = 0,05205 | 1 : 20,047 = 0,04988 | 1 : 20,020 = 0,04995 | 1 : 19,992 = 0,05020 | 1 : 19,254 = 0,05194 | 1 : 19,002 = 0,05263 | 1 : 19,180 = 0,05214 | 1 : 20 = 0,05 |       |       |       |       |
| D                   |                       | 4             | 6   | 9,045                | 12,065               | 17,780               | 23,825               | 31,267               | 44,399               | 63,348               | 80            | 100   | 120   | 160   | 200   |
| Наружный конус      | a                     | 2             | 3   | 3                    | 3,5                  | 5                    | 5                    | 6,5                  | 6,5                  | 8                    | 8             | 10    | 12    | 16    | 20    |
|                     | D <sub>1</sub> *      | 4,1           | 6,2 | 9,2                  | 12,2                 | 18                   | 24,1                 | 31,6                 | 44,7                 | 63,8                 | 80,4          | 100,5 | 120,6 | 160,8 | 201   |
|                     | d <sub>2</sub> *      | —             | —   | 6,1                  | 9                    | 14                   | 19,1                 | 25,2                 | 36,5                 | 52,4                 | 69            | 87    | 105   | 141   | 177   |
|                     | d <sub>3 max</sub> ** | —             | —   | 6                    | 8,7                  | 13,5                 | 18,5                 | 24,5                 | 35,7                 | 51                   | 67            | 85    | 102   | 138   | 174   |
|                     | l <sub>3 max</sub>    | —             | —   | 56,5                 | 62                   | 75                   | 94                   | 117,5                | 149,5                | 210                  | 220           | 260   | 300   | 380   | 460   |
|                     | l <sub>4 max</sub>    | —             | —   | 59,5                 | 65,5                 | 80                   | 99                   | 124                  | 156                  | 218                  | 228           | 270   | 312   | 396   | 480   |
|                     | b                     | —             | —   | 3,9                  | 5,2                  | 6,3                  | 7,9                  | 11,9                 | 15,9                 | 19                   | 26            | 32    | 38    | 50    | 62    |
|                     | c                     | —             | —   | 6,5                  | 8,5                  | 10                   | 13                   | 16                   | 19                   | 27                   | 24            | 28    | 32    | 40    | 48    |
|                     | e <sub>max</sub>      | —             | —   | 10,5                 | 13,5                 | 16                   | 20                   | 24                   | 29                   | 40                   | 48            | 58    | 68    | 88    | 108   |
|                     | R <sub>max</sub>      | —             | —   | 4                    | 5                    | 6                    | 7                    | 8                    | 10                   | 13                   | 24            | 30    | 36    | 48    | 60    |
| Внутренний конус    | d <sub>5</sub>        | 3             | 4,6 | 6,7                  | 9,7                  | 14,9                 | 20,2                 | 26,5                 | 38,2                 | 54,6                 | 71,5          | 90    | 108,5 | 145,5 | 182,5 |
|                     | l <sub>5 min</sub>    | 25            | 34  | 52                   | 56                   | 67                   | 84                   | 107                  | 135                  | 188                  | 202           | 240   | 276   | 350   | 424   |
|                     | l <sub>6</sub>        | 21            | 29  | 49                   | 52                   | 62                   | 78                   | 98                   | 125                  | 177                  | 186           | 220   | 254   | 321   | 388   |
|                     | g                     | 2,2           | 3,2 | 3,9                  | 5,2                  | 6,3                  | 7,9                  | 11,9                 | 15,9                 | 19                   | 26            | 32    | 38    | 50    | 62    |
|                     | h                     | 8             | 12  | 15                   | 19                   | 22                   | 27                   | 32                   | 38                   | 47                   | 52            | 60    | 70    | 90    | 110   |

**Примечания:**

\* Размеры *D*<sub>1</sub> и *d*<sub>2</sub>, являются теоретическими, зависят от диаметра и от номинальных размеров *a* и *l*<sub>3</sub>.

\*\* Диаметр лапки *d*<sub>3</sub> может по длине превышать размер *c* при условии, что *c*<sub>max</sub>=*e*

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### (справочное)

Таблица В.1 – Резьба метрическая. Основные размеры, мм (ГОСТ 24705 – 2004)

| Номинальный<br>наружный<br>диаметр<br>резьбы $D, d$ | Шаг $P$ | Номинальный<br>средний<br>диаметр<br>$D_2, d_2$ | Номинальный<br>внутренний<br>диаметр<br>$D_1, d_1$ | Номинальный<br>внутренний<br>диаметр по дну<br>впадины $d_3$ |
|-----------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 3                                                   | 0,5     | 2,675                                           | 2,459                                              | 2,387                                                        |
|                                                     | 0,35    | 2,773                                           | 2,621                                              | 2,571                                                        |
| 3,5                                                 | 0,6     | 3,110                                           | 2,850                                              | 2,764                                                        |
|                                                     | 0,35    | 3,273                                           | 3,121                                              | 3,071                                                        |
| 4                                                   | 0,7     | 3,545                                           | 3,242                                              | 3,141                                                        |
|                                                     | 0,5     | 3,675                                           | 3,459                                              | 3,387                                                        |
| 4,5                                                 | 0,75    | 4,013                                           | 3,688                                              | 3,580                                                        |
|                                                     | 0,5     | 4,175                                           | 3,959                                              | 3,887                                                        |
| 5                                                   | 0,8     | 4,480                                           | 4,134                                              | 4,019                                                        |
|                                                     | 0,5     | 4,675                                           | 4,459                                              | 4,387                                                        |
| 5,5                                                 | 0,5     | 5,175                                           | 4,959                                              | 4,887                                                        |
| 6                                                   | 1       | 5,350                                           | 4,917                                              | 4,773                                                        |
|                                                     | 0,75    | 5,513                                           | 5,188                                              | 5,080                                                        |
|                                                     | 0,5     | 5,675                                           | 5,459                                              | 5,387                                                        |
| 7                                                   | 1       | 6,350                                           | 5,917                                              | 5,773                                                        |
|                                                     | 0,75    | 6,513                                           | 6,188                                              | 6,080                                                        |
|                                                     | 0,5     | 6,675                                           | 6,459                                              | 6,387                                                        |
| 8                                                   | 1,25    | 7,188                                           | 6,647                                              | 6,466                                                        |
|                                                     | 1       | 7,350                                           | 6,917                                              | 6,773                                                        |
|                                                     | 0,75    | 7,513                                           | 7,188                                              | 7,080                                                        |
|                                                     | 0,5     | 7,675                                           | 7,459                                              | 7,387                                                        |
| 9                                                   | 1,25    | 8,188                                           | 7,647                                              | 7,466                                                        |
|                                                     | 1       | 8,350                                           | 7,917                                              | 7,773                                                        |
|                                                     | 0,75    | 8,513                                           | 8,188                                              | 8,080                                                        |
|                                                     | 0,5     | 8,675                                           | 8,459                                              | 8,387                                                        |
| 10                                                  | 1,5     | 9,026                                           | 8,376                                              | 8,160                                                        |
|                                                     | 1,25    | 9,188                                           | 8,647                                              | 8,466                                                        |
|                                                     | 1       | 9,350                                           | 8,917                                              | 8,773                                                        |
|                                                     | 0,75    | 9,513                                           | 9,188                                              | 9,080                                                        |
|                                                     | 0,5     | 9,675                                           | 9,459                                              | 9,387                                                        |
| 11                                                  | 1,5     | 10,026                                          | 9,376                                              | 9,160                                                        |
|                                                     | 1       | 10,350                                          | 9,917                                              | 9,773                                                        |
|                                                     | 0,75    | 10,513                                          | 10,188                                             | 10,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 10,675                                          | 10,459                                             | 10,387                                                       |
| 12                                                  | 1,75    | 10,863                                          | 10,106                                             | 9,853                                                        |
|                                                     | 1,5     | 11,026                                          | 10,376                                             | 10,160                                                       |
|                                                     | 1,25    | 11,188                                          | 10,647                                             | 10,466                                                       |
|                                                     | 1       | 11,350                                          | 10,917                                             | 10,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 11,513                                          | 11,188                                             | 11,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 11,675                                          | 11,459                                             | 11,387                                                       |

Продолжение таблицы В.1

| Номинальный<br>наружный<br>диаметр<br>резьбы $D, d$ | Шаг $P$ | Номинальный<br>средний<br>диаметр<br>$D_2, d_2$ | Номинальный<br>внутренний<br>диаметр<br>$D_1, d_1$ | Номинальный<br>внутренний<br>диаметр по дну<br>впадины $d_3$ |
|-----------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 14                                                  | 2       | 12,701                                          | 11,835                                             | 11,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 13,026                                          | 12,376                                             | 12,160                                                       |
|                                                     | 1,25    | 13,188                                          | 12,647                                             | 12,466                                                       |
|                                                     | 1       | 13,350                                          | 12,917                                             | 12,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 13,513                                          | 13,188                                             | 13,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 13,675                                          | 13,459                                             | 13,387                                                       |
| 15                                                  | 1,5     | 14,026                                          | 13,376                                             | 13,160                                                       |
|                                                     | 1       | 14,350                                          | 13,917                                             | 13,773                                                       |
| 16                                                  | 2       | 14,701                                          | 13,835                                             | 13,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 15,026                                          | 14,376                                             | 14,160                                                       |
|                                                     | 1       | 15,350                                          | 14,917                                             | 14,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 15,513                                          | 15,188                                             | 15,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 15,675                                          | 15,459                                             | 15,387                                                       |
| 17                                                  | 1,5     | 16,026                                          | 15,376                                             | 15,160                                                       |
|                                                     | 1       | 16,350                                          | 15,917                                             | 15,773                                                       |
| 18                                                  | 2,5     | 16,376                                          | 15,294                                             | 14,933                                                       |
|                                                     | 2       | 16,701                                          | 15,835                                             | 15,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 17,026                                          | 16,376                                             | 16,160                                                       |
|                                                     | 1       | 17,350                                          | 16,917                                             | 16,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 17,513                                          | 17,188                                             | 17,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 17,675                                          | 17,459                                             | 17,387                                                       |
| 20                                                  | 2,5     | 18,376                                          | 17,294                                             | 16,933                                                       |
|                                                     | 2       | 18,701                                          | 17,835                                             | 17,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 19,026                                          | 18,376                                             | 18,160                                                       |
|                                                     | 1       | 19,350                                          | 18,917                                             | 18,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 19,513                                          | 19,188                                             | 19,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 19,675                                          | 19,459                                             | 19,387                                                       |
| 22                                                  | 2,5     | 20,376                                          | 19,294                                             | 18,933                                                       |
|                                                     | 2       | 20,701                                          | 19,835                                             | 19,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 21,026                                          | 20,376                                             | 20,160                                                       |
|                                                     | 1       | 21,350                                          | 20,917                                             | 20,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 21,513                                          | 21,188                                             | 21,080                                                       |
|                                                     | 0,5     | 21,675                                          | 21,459                                             | 21,387                                                       |
| 24                                                  | 3       | 22,051                                          | 20,752                                             | 20,319                                                       |
|                                                     | 2       | 22,701                                          | 21,835                                             | 21,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 23,026                                          | 22,376                                             | 22,160                                                       |
|                                                     | 1       | 23,350                                          | 22,917                                             | 22,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 23,513                                          | 23,188                                             | 23,080                                                       |
| 25                                                  | 2       | 23,701                                          | 22,835                                             | 22,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 24,026                                          | 23,376                                             | 23,160                                                       |
|                                                     | 1       | 24,350                                          | 23,917                                             | 23,773                                                       |
| 26                                                  | 1,5     | 25,026                                          | 24,376                                             | 24,160                                                       |
| 27                                                  | 3       | 25,051                                          | 23,752                                             | 23,319                                                       |
|                                                     | 2       | 25,701                                          | 24,835                                             | 24,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 26,026                                          | 25,376                                             | 25,160                                                       |
|                                                     | 1       | 26,350                                          | 25,917                                             | 25,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 26,513                                          | 26,188                                             | 26,080                                                       |

Продолжение таблицы В.1

| Номинальный<br>наружный<br>диаметр<br>резьбы $D, d$ | Шаг $P$ | Номинальный<br>средний<br>диаметр<br>$D_2, d_2$ | Номинальный<br>внутренний<br>диаметр<br>$D_1, d_1$ | Номинальный<br>внутренний<br>диаметр по дну<br>впадины $d_3$ |
|-----------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 28                                                  | 2       | 26,701                                          | 25,835                                             | 25,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 27,026                                          | 26,376                                             | 26,160                                                       |
|                                                     | 1       | 27,350                                          | 26,917                                             | 26,773                                                       |
| 30                                                  | 3,5     | 27,727                                          | 26,211                                             | 25,706                                                       |
|                                                     | 3       | 28,051                                          | 26,752                                             | 26,319                                                       |
|                                                     | 2       | 28,701                                          | 27,835                                             | 27,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 29,026                                          | 28,376                                             | 28,160                                                       |
|                                                     | 1       | 29,350                                          | 28,917                                             | 28,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 29,513                                          | 29,188                                             | 29,080                                                       |
| 32                                                  | 2       | 30,701                                          | 29,835                                             | 29,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 31,026                                          | 30,376                                             | 30,160                                                       |
| 33                                                  | 3,5     | 30,727                                          | 29,211                                             | 28,706                                                       |
|                                                     | 3       | 31,051                                          | 29,752                                             | 29,319                                                       |
|                                                     | 2       | 31,701                                          | 30,835                                             | 30,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 32,026                                          | 31,376                                             | 31,160                                                       |
|                                                     | 1       | 32,350                                          | 31,917                                             | 31,773                                                       |
|                                                     | 0,75    | 32,513                                          | 32,188                                             | 32,080                                                       |
| 35                                                  | 1,5     | 34,026                                          | 33,376                                             | 33,160                                                       |
| 36                                                  | 4       | 33,402                                          | 31,670                                             | 31,093                                                       |
|                                                     | 3       | 34,051                                          | 32,752                                             | 32,319                                                       |
|                                                     | 2       | 34,701                                          | 33,835                                             | 33,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 35,026                                          | 34,376                                             | 34,160                                                       |
|                                                     | 1       | 35,350                                          | 34,917                                             | 34,773                                                       |
| 38                                                  | 1,5     | 37,026                                          | 36,376                                             | 36,160                                                       |
| 39                                                  | 4       | 36,402                                          | 34,670                                             | 34,093                                                       |
|                                                     | 3       | 37,051                                          | 35,752                                             | 35,319                                                       |
|                                                     | 2       | 37,701                                          | 36,835                                             | 36,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 38,026                                          | 37,376                                             | 37,160                                                       |
|                                                     | 1       | 38,350                                          | 37,917                                             | 37,773                                                       |
| 40                                                  | 3       | 38,051                                          | 36,752                                             | 36,319                                                       |
|                                                     | 2       | 38,701                                          | 37,835                                             | 37,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 39,026                                          | 38,376                                             | 38,160                                                       |
| 42                                                  | 4,5     | 39,077                                          | 37,129                                             | 36,479                                                       |
|                                                     | 4       | 39,402                                          | 37,670                                             | 37,093                                                       |
|                                                     | 3       | 40,051                                          | 38,752                                             | 38,319                                                       |
|                                                     | 2       | 40,701                                          | 39,835                                             | 39,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 41,026                                          | 40,376                                             | 40,160                                                       |
|                                                     | 1       | 41,350                                          | 40,917                                             | 40,773                                                       |
| 45                                                  | 4,5     | 42,077                                          | 40,129                                             | 39,479                                                       |
|                                                     | 4       | 42,402                                          | 40,670                                             | 40,093                                                       |
|                                                     | 3       | 43,051                                          | 41,752                                             | 41,319                                                       |
|                                                     | 2       | 43,701                                          | 42,835                                             | 42,546                                                       |
|                                                     | 1,5     | 44,026                                          | 43,376                                             | 43,160                                                       |
|                                                     | 1       | 44,350                                          | 43,917                                             | 43,773                                                       |

Таблица В.2 – Предельные отклонения диаметров наружной резьбы

| Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм | Шаг $P$ , мм | Поле допуска наружной резьбы |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |        |       |       |      |      |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|-------|------|------|
|                                     |              | $3h4h$                       |       |       |      |       | $4g$  |      |       |       |      | $4h$  |       |      |       |       | $5h4h$ |       |       |      |      |
|                                     |              | Диаметр резьбы               |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |        |       |       |      |      |
|                                     |              | $d$                          | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$    | $d_2$ | $d_1$ |      |      |
|                                     |              | Предельные отклонения, мкм   |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |        |       |       |      |      |
|                                     |              | $es$                         | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $ei$  | $es$ | $es$  | $ei$  | $es$ | $ei$  | $es$  | $es$   | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$ |
| От 1 до 1,4                         | 0,2          | 0                            | -36   | 0     | -24  | 0     | -17   | -53  | -17   | -47   | -17  | 0     | -36   | 0    | -30   | 0     | 0      | -36   | 0     | -38  | 0    |
|                                     | 0,25         | 0                            | -42   | 0     | -26  | 0     | -18   | -60  | -18   | -52   | -18  | 0     | -42   | 0    | -34   | 0     | 0      | -42   | 0     | -42  | 0    |
|                                     | 0,3          | 0                            | -48   | 0     | -28  | 0     | -18   | -66  | -18   | -54   | -18  | 0     | -48   | 0    | -36   | 0     | 0      | -48   | 0     | -45  | 0    |
| Св. 1,4 до 2,8                      | 0,2          | 0                            | -36   | 0     | -25  | 0     | -17   | -53  | -17   | -49   | -17  | 0     | -36   | 0    | -32   | 0     | 0      | -36   | 0     | -40  | 0    |
|                                     | 0,25         | 0                            | -42   | 0     | -28  | 0     | -18   | -60  | -18   | -54   | -18  | 0     | -42   | 0    | -36   | 0     | 0      | -42   | 0     | -45  | 0    |
|                                     | 0,35         | 0                            | -53   | 0     | -32  | 0     | -19   | -72  | -19   | -59   | -19  | 0     | -53   | 0    |       |       |        |       |       |      |      |

Продолжение таблицы В.2

| Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм | Шаг $P$ , мм | Поле допуска наружной резьбы |       |       |      |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
|                                     |              | $5g6g$                       |       |       |      |       | $5h6h$ |      |       |       |      | $6d$  |       |      |       |       | $6e$ |       |       |      |      |
|                                     |              | Диаметр резьбы               |       |       |      |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |
|                                     |              | $d$                          | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$  | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ |      |      |
|                                     |              | Предельные отклонения, мкм   |       |       |      |       |        |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |
|                                     |              | $es$                         | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $ei$   | $es$ | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $ei$  | $es$ | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $ei$  | $es$ | $ei$ |
| От 1 до 1,4                         | 0,2          | -17                          | -73   | -17   | -55  | -17   | 0      | -56  | 0     | -38   | 0    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    |      |
|                                     | 0,25         | -18                          | -85   | -18   | -60  | -18   | 0      | -67  | 0     | -42   | 0    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    |      |
|                                     | 0,3          | -18                          | -93   | -18   | -63  | -18   | 0      | -75  | 0     | -45   | 0    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    |      |
| Св. 1,4 до 2,8                      | 0,2          | -17                          | -73   | -17   | -57  | -17   | 0      | -56  | 0     | -38   | 0    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    |      |
|                                     | 0,25         | -18                          | -85   | -18   | -63  | -18   | 0      | -67  | 0     | -45   | 0    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    |      |
|                                     | 0,35         | -19                          | -104  | -19   | -69  | -19   | 0      | -85  | 0     | -50   | 0    | -     | -     | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -    |      |
|                                     | 0,4          | -19                          | -114  | -19   | -72  | -19   | 0</    |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |

Продолжение таблицы В.2

| Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм | Шаг $P$ , мм | Поле допуска наружной резьбы |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                                     |              | $6f$                         |       |       |      |       | $6g$  |      |       |       |      | $6h$ |      |      |      |      |
|                                     |              | Диаметр резьбы               |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
|                                     |              | $d$                          | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$ |      |      |      |      |      |      |
|                                     |              | Предельные отклонения, мкм   |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
|                                     |              | $es$                         | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $ei$  | $es$ | $es$ | $ei$ | $es$ | $ei$ | $es$ |
| От 1 до 1,4                         | 0,2          | -32                          | -88   | -32   | -80  | -32   | -17   | -73  | -17   | -65   | -17  | 0    | -56  | 0    | -48  | 0    |
|                                     | 0,25         | -33                          | -100  | -33   | -86  | -33   | -18   | -85  | -18   | -71   | -18  | 0    | -67  | 0    | -53  | 0    |
|                                     | 0,3          | -33                          | -108  | -33   | -89  | -33   | -18   | -93  | -18   | -74   | -18  | 0    | -75  | 0    | -56  | 0    |
| Св. 1,4 до 2,8                      | 0,2          | -32                          | -88   | -32   | -82  | -32   | -17   | -73  | -17   | -67   | -17  | 0    | -56  | 0    | -50  | 0    |
|                                     | 0,25         | -33                          | -100  | -33   | -89  | -33   | -18   | -85  | -18   | -74   | -18  | 0    | -67  | 0    | -56  | 0    |
|                                     | 0,35         | -34                          | -119  | -34   | -97  | -34   | -19   | -104 | -19   | -82   | -19  | 0    | -85  | 0    | -63  | 0    |
|                                     | 0,4          | -34                          | -129  | -34   | -101 | -34   | -19   | -114 | -19   | -86   | -19  | 0    | -95  | 0    | -67  | 0    |
|                                     | 0,45         | -35                          | -135  | -35   | -106 | -35   | -20   | -120 | -20   | -91   | -20  | 0    | -100 | 0    | -71  | 0    |
| Св. 2,8 до 5,6                      | 0,25         | -33                          | -100  | -33   | -89  | -33   | -18   | -85  | -18   | -74   | -18  | 0    | -67  | 0    | -56  | 0    |
|                                     | 0,35         | -34                          | -119  | -34   | -101 | -34   | -19   | -104 | -19   | -86   | -19  | 0    | -85  | 0    | -67  | 0    |
|                                     | 0,5          | -36                          | -142  | -36   | -111 | -36   | -20   | -126 | -20   | -95   | -20  | 0    | -106 | 0    | -75  | 0    |
|                                     | 0,6          | -36                          | -161  | -36   | -121 | -36   | -21   | -146 | -21   | -106  | -21  | 0    | -125 | 0    | -85  | 0    |
|                                     | 0,7          | -38                          | -178  | -38   | -128 | -38   | -22   | -162 | -22   | -112  | -22  | 0    | -140 | 0    | -90  | 0    |
|                                     | 0,75         | -38                          | -178  | -38   | -128 | -38   | -22   | -162 | -22   | -112  | -22  | 0    | -140 | 0    | -90  | 0    |
|                                     | 0,8          | -38                          | -188  | -38   | -133 | -38   | -24   | -174 | -24   | -119  | -24  | 0    | -150 | 0    | -95  | 0    |
| Св. 5,6 до 11,2                     | 0,25         | -33                          | -100  | -33   | -96  | -33   | -18   | -85  | -18   | -81   | -18  | 0    | -67  | 0    | -63  | 0    |
|                                     | 0,35         | -34                          |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |

Продолжение таблицы В.2

| Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм | Шаг $P$ , мм | Поле допуска наружной резьбы |       |       |      |       |        |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|------|
|                                     |              | $7e6e$                       |       |       |      |       | $7g6g$ |       |       |       |       | $7h6h$ |      |      |      |      |
|                                     |              | Диаметр резьбы               |       |       |      |       |        |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
|                                     |              | $d$                          | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$  | $d$   | $d_2$ | $d_1$ |       |        |      |      |      |      |
|                                     |              | Предельные отклонения, мкм   |       |       |      |       |        |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
|                                     |              | $es$                         | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $es$   | $ei$  | $es$  | $ei$  | $es$  | $es$   | $ei$ | $es$ | $ei$ | $es$ |
| От 1 до 1,4                         | 0,2          | -                            | -     | -     | -    | -     | (-17)  | (-73) | (-17) | (-77) | (-17) | 0      | -56  | 0    | -60  | 0    |
|                                     | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | (-18)  | (-85) | (-18) | (-85) | (-18) | 0      | -67  | 0    | -67  | 0    |
|                                     | 0,3          | -                            | -     | -     | -    | -     | (-18), | (-93) | (-18) | (-89) | (-18) | 0      | -75  | 0    | -71  | 0    |
| Св. 1,4 до 2,8                      | 0,2          | -                            | -     | -     | -    | -     | (-17)  | (-73) | (-17) | (-80) | (-17) | 0      | -56  | 0    | -63  | 0    |
|                                     | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | (-18)  | (-85) | (-18) | (-89) | (-18) | 0      | -67  | 0    | -71  | 0    |
|                                     | 0,35         | -                            | -     | -     | -    | -     | -19    | -104  | -19   | -99   | -19   | 0      | -85  | 0    | -80  | 0    |
|                                     | 0,4          | -                            | -     | -     | -    | -     | -19    | -114  | -19   | -104  | -19   | 0      | -95  | 0    | -85  | 0    |
|                                     | 0,45         | -                            | -     | -     | -    | -     | -20    | -120  | -20   | -110  | -20   | 0      | -100 | 0    | -90  | 0    |
| Св. 2,8 до 5,6                      | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | (-18)  | (-85) | (-18) | (-89) | (-18) | 0      | -67  | 0    | -71  | 0    |
|                                     | 0,35         | -                            | -     | -     | -    | -     | -19    | -104  | -19   | -104  | -19   | 0      | -85  | 0    | -85  | 0    |
|                                     | 0,5          | -50                          | -156  | -50   | -145 | -50   | -20    | -126  | -20   | -115  | -20   | 0      | -106 | 0    | -95  | 0    |
|                                     | 0,6          | -53                          | -178  | -53   | -159 | -53   | -21    | -146  | -21   | -127  | -21   | 0      | -125 | 0    | -106 | 0    |
|                                     | 0,7          | -56                          | -196  | -56   | -168 | -56   | -22    | -162  | -22   | -134  | -22   | 0      | -140 | 0    | -112 | 0    |
|                                     | 0,75         | -56                          | -196  | -56   | -168 | -56   | -22    | -162  | -22   | -134  | -22   | 0      | -140 | 0    | -112 | 0    |
|                                     | 0,8          | -60                          | -210  | -60   | -178 | -60   | -24    | -174  | -24   | -142  | -24   | 0      | -150 | 0    | -118 | 0    |
| Св. 5,6 до 11,2                     | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | (-18)  | (-85) | (-18) | (-99) | (-18) | 0      | -67  | 0    | -80  | 0    |
|                                     | 0,35         | -                            | -     | -     | -    | -     | -19    | -104  | -19   | -109  | -19   | 0      | -85  | 0    | -90  | 0    |
|                                     | 0,5          | -50                          | -156  | -50   | -156 | -50   |        |       |       |       |       |        |      |      |      |      |

| Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм | Шаг $P$ , мм | Поле допуска наружной резьбы |       |       |      |       |                                                         |      |       |       |      |        |      |      |      |      |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|---------------------------------------------------------|------|-------|-------|------|--------|------|------|------|------|
|                                     |              | $8g$                         |       |       |      |       | $8h$ (при $P \geq 0,8$ мм)<br>$8h6h$ (при $P < 0,8$ мм) |      |       |       |      | $9g8g$ |      |      |      |      |
|                                     |              | Диаметр резьбы               |       |       |      |       |                                                         |      |       |       |      |        |      |      |      |      |
|                                     |              | $d$                          | $d_2$ | $d_1$ | $d$  | $d_2$ | $d_1$                                                   | $d$  | $d_2$ | $d_1$ |      |        |      |      |      |      |
|                                     |              | Предельные отклонения, мкм   |       |       |      |       |                                                         |      |       |       |      |        |      |      |      |      |
|                                     |              | $es$                         | $ei$  | $es$  | $ei$ | $es$  | $es$                                                    | $ei$ | $es$  | $ei$  | $es$ | $es$   | $ei$ | $es$ | $ei$ | $es$ |
| От 1 до 1,4                         | 0,2          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -56  | 0     | -75   | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -67  | 0     | -85   | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,3          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -75  | 0     | -90   | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
| Св. 1,4 до 2,8                      | 0,2          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -56  | 0     | -80   | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -67  | 0     | -90   | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,35         | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -85  | 0     | -100  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,4          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -95  | 0     | -106  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,45         | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -100 | 0     | -112  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
| Св. 2,8 до 5,6                      | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | -                                                       | -67  | -     | -     | -    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,35         | -                            | -     | -     | -    | -     | -                                                       | -85  | -     | -106  | -    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,5          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -106 | 0     | -118  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,6          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -125 | 0     | -132  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,7          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -140 | 0     | -140  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,75         | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -140 | 0     | -140  | 0    | -      | -    | -    | -    | -    |
|                                     | 0,8          | -24                          | -260  | -24   | -174 | -24   | 0                                                       | -150 | 0     | -150  | 0    | -24    | -260 | -24  | -214 | -24  |
| Св. 5,6 до 11,2                     | 0,25         | -                            | -     | -     | -    | -     | -                                                       | -    | -     | -     | -    |        |      |      |      |      |
|                                     | 0,35         | -                            | -     | -     | -    | -     | -                                                       | -    | -     | -     | -    |        |      |      |      |      |
|                                     | 0,5          | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -106 | 0     | -132  | 0    |        |      |      |      |      |
|                                     | 0,75         | -                            | -     | -     | -    | -     | 0                                                       | -140 | 0     | -160  | 0    |        |      |      |      |      |
|                                     | 1            | -26                          | -306  | -26   | -206 | -26   | 0                                                       | -280 | 0     | -180  | 0    | -26    | -306 | -26  | -256 | -26  |
|                                     | 1,25         | -28                          | -363  | -28   | -218 | -28   | 0                                                       | -335 | 0     | -190  | 0    | -28    | -363 | -28  | -264 | -28  |
|                                     | 1,5          | -32                          | -407  | -32   | -244 | -32   | 0                                                       | -375 |       |       |      |        |      |      |      |      |

**Примечание:** Нижнее отклонение диаметра  $d_1$  не устанавливается, но косвенно ограничивается формой впадины болта.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Лабораторная работа №6,7

*Эскиз детали*

*Таблица №1 – Технические характеристики средства измерения*

|                      |  |
|----------------------|--|
| Наименование прибора |  |
| Цена деления         |  |
| Пределы измерения    |  |
| Погрешность          |  |

*Таблица №2 – Результаты измерений*

| №п/п       |   | Показания прибора, мкм |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Величина биения |
|------------|---|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|
| Радиальное | 1 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
|            | 2 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
|            | 3 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |
| Торцевое   | 1 |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                 |

*Схема поля допуска радиального биения*

*Схема поля допуска торцевого биения*

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                               |                    |      |
|-----------|------|----------|---------|------|-----------------------------------------------|--------------------|------|
|           |      |          |         |      |                                               |                    |      |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                               |                    |      |
| Разраб.   |      |          |         |      | Измерение радиального и торцевого биения вала |                    |      |
| Провер.   |      |          |         |      |                                               |                    |      |
|           |      |          |         |      |                                               |                    |      |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                               |                    |      |
| Утв.      |      |          |         |      |                                               |                    |      |
|           |      |          |         |      |                                               | Лит.               | Лист |
|           |      |          |         |      |                                               |                    | 1    |
|           |      |          |         |      |                                               | Листов             | 1    |
|           |      |          |         |      |                                               | СевГУ, каф. ПСАТП, |      |
|           |      |          |         |      |                                               | гр.                |      |

## Лабораторная работа № 8

Эскиз измеряемой детали

Таблица 1 – Технические характеристики

|                                                   |  |
|---------------------------------------------------|--|
| Наименование прибора                              |  |
| Пределы измерения параметров:<br>- $R_z$<br>- $S$ |  |
| Количество сменных объективов                     |  |
| Принцип действия прибора                          |  |
| Погрешность                                       |  |

Таблица 2 – Определение цены деления прибора

| Параметр                                                                                       |     | Значение                     |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------|---------|
| Число делений шкалы объект-микрометра, пройденных перекрестием окуляр-микрометра               | $z$ |                              |         |
| Цена деления объект-микрометра, мкм                                                            | $T$ |                              |         |
| Разность отсчетов, полученных при двух совмещениях перекрестия, выраженная в делениях барабана | $A$ | $A_1 =$                      | $A_2 =$ |
|                                                                                                |     | $A = A_2 - A_1 =$            |         |
| Цена деления прибора на данном объективе:                                                      |     | $E = \frac{z \cdot T}{2A} =$ |         |

Таблица 3 – Результаты измерения на базовой длине

| № пары | Высота вершины<br>$R_{pi}$ | Глубина впадины<br>$R_{vi}$ | Наибольшая разность отсчётов<br>$N \rightarrow \max \left\{ \begin{matrix} R_{p \max} - R_{v \min} \\ R_{p \min} - R_{v \max} \end{matrix} \right\}$ | Наибольшая высота профиля<br><br>$R_z = N \cdot E$ |
|--------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1      |                            |                             |                                                                                                                                                      |                                                    |
| 2      |                            |                             |                                                                                                                                                      |                                                    |
| 3      |                            |                             |                                                                                                                                                      |                                                    |
| 4      |                            |                             |                                                                                                                                                      |                                                    |
| 5      |                            |                             |                                                                                                                                                      |                                                    |

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                                                             |                           |  |
|-----------|------|----------|---------|------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--|
|           |      |          |         |      |                                                                             |                           |  |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                                                             |                           |  |
| Разраб.   |      |          |         |      | Измерение параметров шероховатости поверхности на двойном микроскопе МИС-11 |                           |  |
| Провер.   |      |          |         |      |                                                                             |                           |  |
| Н. контр. |      |          |         |      | Лит. Лист Листов<br>1 1                                                     |                           |  |
| Утв.      |      |          |         |      |                                                                             |                           |  |
|           |      |          |         |      |                                                                             | СевГУ, каф. ПСАТП,<br>гр. |  |

## Лабораторная работа № 9

*Эскиз измеряемой детали*

*Таблица 1 – Технические характеристики*

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Наименование прибора              |  |
| Пределы измерения параметра $R_z$ |  |
| Общее увеличение прибора          |  |
| Принцип действия прибора          |  |
| Погрешность измерений             |  |

*Таблица 2 – Результаты измерения*

| № измерения | $N_1$ | $N_2$ | $N_3$ | $R_i$ | $R_z$ , мкм |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| 1           |       |       |       |       |             |
| 2           |       |       |       |       |             |
| 3           |       |       |       |       |             |
| 4           |       |       |       |       |             |
| 5           |       |       |       |       |             |

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
|-----------|------|----------|---------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|           |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
|           |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата | <b>Измерение параметров<br/>шероховатости поверхности<br/>с использованием<br/>микроинтерферометра МИИ-4</b> |      |        |
| Разраб.   |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
| Провер.   |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
| Утв.      |      |          |         |      |                                                                                                              |      |        |
|           |      |          |         |      | Лит.                                                                                                         | Лист | Листов |
|           |      |          |         |      |                                                                                                              | 1    | 1      |
|           |      |          |         |      | СеВГУ, каф. ПСАТП,<br>гр.                                                                                    |      |        |

## Лабораторная работа №10

*Эскиз измеряемой детали*

*Таблица 1 – Технические характеристики средства измерения*

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Наименование прибора          |  |
| Пределы измерения, град.      |  |
| Цена деления по нониусу, мин. |  |
| Погрешность, мин.             |  |

*Таблица 2 – Данные о детали и результаты измерений*

| Степень точности | Номинальные углы, град. | Наименьшая сторона угла | Предельные отклонения | Действительное значение | Действительное отклонение |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
|                  | $\alpha=$               |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\beta=$                |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\gamma=$               |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\varphi=$              |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\Psi=$                 |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\sigma=$               |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\chi=$                 |                         |                       |                         |                           |
|                  | $\omega=$               |                         |                       |                         |                           |

*Схемы полей допусков*

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                      |                           |        |
|-----------|------|----------|---------|------|--------------------------------------|---------------------------|--------|
|           |      |          |         |      |                                      |                           |        |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                      |                           |        |
| Разраб.   |      |          |         |      | <b>Измерение углов<br/>угломером</b> | Лит.                      | Лист   |
| Провер.   |      |          |         |      |                                      |                           | Листов |
|           |      |          |         |      |                                      |                           | 1      |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                      | СевГУ, каф. ПСАТП,<br>гр. |        |
| Утв.      |      |          |         |      |                                      |                           |        |

## Лабораторная работа № 11

*Схема измерения*

*Таблица 1- Технические характеристики средства измерения*

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Цена деления, мм      |  |
| Погрешность, мм       |  |

*Таблица 2 – Данные о детали*

|                        |  |
|------------------------|--|
| Наименование           |  |
| Наибольший диаметр, мм |  |
| Номер конуса           |  |
| Номинальная конусность |  |

*Диаметры шариков:*

$D = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $d = \underline{\hspace{2cm}}$

*Таблица 3 – Результаты измерения*

| № п/п                | Показания прибора, мм |     |
|----------------------|-----------------------|-----|
|                      | $H$                   | $h$ |
| 1                    |                       |     |
| 2                    |                       |     |
| 3                    |                       |     |
| Среднее значение, мм |                       |     |

*Расчет конусности детали*

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
|-----------|------|----------|---------|------|-------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|           |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
|           |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата | <b>Определение конусности<br/>внутренних конусов<br/>методом двух шариков</b> |      |        |
| Разраб.   |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
| Провер.   |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
| Утв.      |      |          |         |      |                                                                               |      |        |
|           |      |          |         |      | Лит.                                                                          | Лист | Листов |
|           |      |          |         |      |                                                                               | 1    | 1      |
|           |      |          |         |      | СевГУ, каф. ПСАТП,<br>гр.                                                     |      |        |

## Лабораторная работа №12

Схема измерения

Таблица 1 – Технические характеристики средства измерения

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Наименование прибора           |  |
| Пределы измерения по шкале, мм |  |
| Цена деления, мкм              |  |
| Количество шкал, шт            |  |
| Погрешность, мкм               |  |

Таблица 2 – Результаты измерений

| Показания прибора |              | Разность показаний<br>$n$ | Расстояние $l$<br>между точками измерения | Отклонение конусности<br>$\Delta K$ | Отклонение угла конуса<br>$\Delta \alpha$ |
|-------------------|--------------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| первая точка      | вторая точка |                           |                                           |                                     |                                           |
|                   |              |                           |                                           |                                     |                                           |

Отклонение конусности:

$$\Delta K = \frac{n}{l}$$

Отклонение угла конуса ("):

$$\Delta \alpha = \frac{n}{l} \cdot 2 \cdot 10^5$$

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                      |  |  |                           |      |        |
|-----------|------|----------|---------|------|--------------------------------------|--|--|---------------------------|------|--------|
|           |      |          |         |      |                                      |  |  |                           |      |        |
|           |      |          |         |      |                                      |  |  |                           |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                      |  |  |                           |      |        |
| Разраб.   |      |          |         |      | Измерение углов<br>синусной линейкой |  |  | Лит.                      | Лист | Листов |
| Провер.   |      |          |         |      |                                      |  |  |                           | 1    | 1      |
|           |      |          |         |      |                                      |  |  | СеВГУ, каф. ПСАТП,<br>гр. |      |        |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                      |  |  |                           |      |        |
| Утв.      |      |          |         |      |                                      |  |  |                           |      |        |

## Лабораторная работа №13

Схема измерения

Таблица 1 – Метрологические характеристики средства измерения

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Цена деления, мкм     |  |
| Погрешность, мкм      |  |

Таблица 2 – Технические характеристики детали

|                                         |  |
|-----------------------------------------|--|
| Наименование                            |  |
| Маркировка по ГОСТ                      |  |
| Шаг резьбы, $P$ , мм                    |  |
| Номинальный средний диаметр, $d_2$ , мм |  |

Таблица 3 – Результаты измерений

Схема поля допуска ( $d_2$ )

| № измерения      | Показания прибора |
|------------------|-------------------|
| 1                |                   |
| 2                |                   |
| 3                |                   |
| среднее значение |                   |

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                                                     |                    |      |
|-----------|------|----------|---------|------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|------|
|           |      |          |         |      |                                                                     |                    |      |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                                                     |                    |      |
| Разраб.   |      |          |         |      | <b>Измерение среднего диаметра резьбы<br/>резьбовым микрометром</b> | Лит.               | Лист |
| Провер.   |      |          |         |      |                                                                     | 1                  | 1    |
|           |      |          |         |      |                                                                     | СеВГУ, каф. ПСАТП, |      |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                                                     | гр.                |      |
| Утв.      |      |          |         |      |                                                                     |                    |      |

## Лабораторная работа №14

Схема измерения

Таблица 1 – Метрологические характеристики средства измерения

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Наименование прибора  |  |
| Пределы измерения, мм |  |
| Цена деления, мкм     |  |
| Погрешность, мкм      |  |

Таблица 2 – Технические характеристики детали

|                                         |  |
|-----------------------------------------|--|
| Наименование                            |  |
| Маркировка по ГОСТ                      |  |
| Шаг резьбы, $P$ , мм                    |  |
| Номинальный средний диаметр, $d_2$ , мм |  |

Таблица 3 – Результаты измерений

Схема поля допуска ( $d_2$ )

| № измерения          | Показания прибора |
|----------------------|-------------------|
| 1                    |                   |
| 2                    |                   |
| 3                    |                   |
| среднее значение $M$ |                   |

$$d_{np} = \quad P =$$

$$d_2 = M - 3d_{np} + 0,866P$$

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                                                     |                           |      |
|-----------|------|----------|---------|------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|------|
|           |      |          |         |      |                                                                     |                           |      |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                                                     |                           |      |
| Разраб.   |      |          |         |      | <b>Измерение среднего диаметра резьбы<br/>резьбовым микрометром</b> | Лит.                      | Лист |
| Провер.   |      |          |         |      |                                                                     |                           | 1    |
|           |      |          |         |      |                                                                     | СевГУ, каф. ПСАТП,<br>гр. |      |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                                                     |                           |      |
| Утв.      |      |          |         |      |                                                                     |                           |      |

## Лабораторная работа №15

Таблица 1 – Метрологические характеристики средств измерения

| Наименование прибора | Проверяемый элемент резьбы | Цена деления | Пределы измерений прибора | Погрешность |
|----------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|-------------|
|                      |                            |              |                           |             |
|                      |                            |              |                           |             |
|                      |                            |              |                           |             |

Таблица 2 – Результаты измерения среднего диаметра резьбы

| № п/п            | Диаметр $d_2$ |
|------------------|---------------|
| 1                |               |
| 2                |               |
| 3                |               |
| среднее значение |               |

Технические характеристики измеряемой детали

| Наименование | Маркировка по ГОСТ | Наружный диаметр $d$ , мм | Средний диаметр $d_2$ , мм | Шаг $P$ , мм | Угол профиля $\alpha^\circ$ |
|--------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------|
|              |                    |                           |                            |              |                             |
|              |                    |                           |                            |              |                             |

Таблица 3 – Результаты измерения шага резьбы

|                                                                          |                    |     |  |                   |                    |  |                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----|--|-------------------|--------------------|--|---------------------------------------------------------|
| Номинальное значение шага на длине свинчивания, $P=$ мм                  |                    |     |  |                   |                    |  |                                                         |
| Результаты измерения, мм                                                 |                    |     |  |                   |                    |  |                                                         |
| Параметр                                                                 | Отсчет, мм         |     |  |                   |                    |  | Погрешность<br>$\delta P_n$ лев<br>( $\delta P_n$ прав) |
|                                                                          | На втором витке    |     |  | На $(n+2)$ витке  |                    |  |                                                         |
| $P_n$ лев                                                                | Показание прибора  | 1-е |  | Показание прибора | 1-е                |  |                                                         |
|                                                                          |                    | 2-е |  |                   | 2-е                |  |                                                         |
|                                                                          | Разность показаний |     |  |                   | Разность показаний |  |                                                         |
| $P_n$ прав                                                               | Показание прибора  | 1-е |  | Показание прибора | 1-е                |  |                                                         |
|                                                                          |                    | 2-е |  |                   | 2-е                |  |                                                         |
|                                                                          | Разность показаний |     |  |                   | Разность показаний |  |                                                         |
| $\delta P_n =  \delta P_n \text{ прав} + \delta P_n \text{ лев} /2 =$ мм |                    |     |  |                   |                    |  |                                                         |
| $f_p = 1,732 \cdot \delta P_n =$ мм                                      |                    |     |  |                   |                    |  |                                                         |

Таблица 4 – Результаты измерения угла профиля резьбы

|                                                                       |  |                                                    |  |
|-----------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------|--|
| Номинальное значение половины угла профиля резьбы<br>$\alpha/2=$ град |  |                                                    |  |
| Показания прибора, град. и мин.                                       |  |                                                    |  |
| По левой грани                                                        |  | По правой грани                                    |  |
| $\alpha/2_I$                                                          |  | $\alpha/2_{II}$                                    |  |
| $\alpha/2_{II}$                                                       |  | $\alpha/2_{IV}$                                    |  |
| $\alpha/2_{лев}=(\alpha/2_I+\alpha/2_{II})/2$                         |  | $\alpha/2_{прав}=(\alpha/2_{III}+\alpha/2_{IV})/2$ |  |
| $\delta\alpha/2_{лев}=\alpha/2-\alpha/2_{лев}$                        |  | $\delta\alpha/2_{прав}=\alpha/2-\alpha/2_{прав}$   |  |
| $\delta\alpha/2=( \delta\alpha/2_{лев} + \delta\alpha/2_{прав} )/2=$  |  |                                                    |  |
| $f_a=0,00029 \cdot P \cdot \delta\alpha/2=$                           |  | мм                                                 |  |

Схема поля допуска ( $d_2$ )

**Вывод:**

|           |      |          |         |      |                                                            |      |        |
|-----------|------|----------|---------|------|------------------------------------------------------------|------|--------|
|           |      |          |         |      |                                                            |      |        |
| Изм.      | Лист | № док.м. | Подпись | Дата |                                                            |      |        |
| Разраб.   |      |          |         |      | Измерение элементов резьбы на инструментальных микроскопах |      |        |
| Провер.   |      |          |         |      |                                                            |      |        |
|           |      |          |         |      |                                                            |      |        |
| Н. контр. |      |          |         |      |                                                            |      |        |
| Утв.      |      |          |         |      |                                                            |      |        |
|           |      |          |         |      | Лит.                                                       | Лист | Листов |
|           |      |          |         |      |                                                            | 1    | 1      |
|           |      |          |         |      | СевГУ, каф. ПСАТП,                                         |      |        |
|           |      |          |         |      | зр.                                                        |      |        |