

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Метрологическое обеспечение
машиноприборостроительного производства»
для студентов всех форм обучения технических направлений

Севастополь
СевГУ
2025

УДК 681.2(076.5)
ББК 34.9я73
У591

Р е ц е н з е н т:

А. Ю. Тараховский – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Основы цифрового проектирования» Политехнического института СевГУ

Составители: А. П. Васютенко, Н. А. Балакина

У591 Универсальные и специальные средства измерений : учебно-методическое пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Метрологическое обеспечение машиноприборостроительного производства» для студентов всех форм обучения технических направлений / Севастопольский государственный университет ; сост.: А. П. Васютенко, Н. А. Балакина. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 89 с. – Текст : электронный.

Целью учебно-методического пособия является ознакомление студентов с конструкцией, методиками проведения измерений с помощью универсальных и специальных средств измерений. Овладение практическими навыками проведения измерений наружных и внутренних линейных размеров, измерения углов между плоскими гранями, пирамидальности призм, измерения радиуса кривизны сферических поверхностей и кинематической погрешности зубчатых колес и других параметров.

Предназначено для учебно-методического обеспечения дисциплины «Метрологическое обеспечение машиноприборостроительного производства».

УДК 681.2(076.5)
ББК 34.9я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию в качестве учебно-методического пособия для студентов всех форм обучения технических направлений на заседании кафедры «Приборостроение и транспорт», протокол № 8 от 14 марта 2025 г.

© Васютенко А. П., Балакина Н. А., сост., 2025
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....	6
1.1. Основные термины и определения.....	6
1.2. Классификация средств измерения	8
2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.....	10
2.1. Лабораторная работа 1 Универсальные средства измерения и их основные метрологические характеристики	10
2.2. Лабораторная работа 2 Поверка рычажного микрометра плоскопараллельными концевыми мерами длины	28
2.3. Лабораторная работа 3 Определение степени износа калибра-скобы с помощью концевых мер	33
2.4. Лабораторная работа 4 Изучение конструкции и проведение измерений на горизонтальном оптиметре ..	45
2.5. Лабораторная работа 5 Изучение гониометрических методов измерения.....	53
2.6. Лабораторная работа 6 Измерение радиуса кривизны поверхности на кольцевом сферометре	67
2.7. Лабораторная работа 7 Прибор для однопрофильного контроля мелко модульных зубчатых колес	80
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	88
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	89

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задачи повышения эффективности производства и качества продукции необходима достоверная точная и объективная информация, без которой невозможны оптимизация производственных процессов и оценка технических параметров продукции на всех стадиях ее изготовления. Основным источником такой информации являются измерения, поэтому важна роль метрологии, как науки об измерениях, а также важна роль метрологического обеспечения производства и научных исследований. Важнейшими видами деятельности метрологических служб являются анализ метрологического обеспечения, метрологическая экспертиза документации, аттестация средств измерений и испытаний. Знание основ метрологии и метрологического обеспечения производства стало необходимостью не только для работников метрологической службы предприятий, организаций, конструкторских бюро, но и для специалистов других направлений.

Контроль параметров деталей и изделий в процессе их изготовления осуществляется универсальными и специальными средствами измерений в центральных заводских измерительных лабораториях, отделах технического контроля и автоматическими средствами, являющимися частью технологического процесса, а также встроенными в металлорежущие станки.

Создание новой техники и технологии, автоматизация производства и управление любым объектом тесно связаны с совершенствованием измерительной техники, повышением ее точности и надежности. Производство современных средств измерений, применение автоматизированных методов принятия проектных и конструкторских решений выдвигают задачу оценки и обоснования требований к точности обеспечиваемых метрологических характеристик.

В настоящее время перед промышленностью поставлена задача развития автоматизации технологических процессов. Одним из наиболее важных и сложных вопросов в этой области является автоматизация контрольных операций. Она может осуществляться по линии автоматизации как технологического, так и послеоперационного контроля. Оба метода имеют важное значение с точки зрения обеспечения требуемого качества выпускаемой продукции, однако, очевидно, что активный контроль, направленный на профилактику брака ещё в процессе изготовления продукции является более прогрессивным, а, следовательно, и более перспективным. Основным смыслом активного контроля заключается в повышении технологической точности путём компенсации погрешности, вызванной износом инструмента, тепловой и силовой деформацией технологической системы. Активный контроль является важнейшей составляющей частью регулирования качества продукции и обеспечивается самим технологическим процессом. Этот вид контроля направлен на удержание размеров деталей внутри поля (интервала) допуска.

Послеоперационный контроль геометрических параметров деталей с использованием полуавтоматических (автоматизированных) и автоматических

измерительных систем применяется в серийном и массовом производствах. Он позволяет определить годность деталей, т. е. соответствие их размеров и параметров допускаемым предельным размерам (параметрам) или рассортировать на размерные группы с целью организации селективной сборки.

Улучшение конструкторской подготовки инженерных кадров требует обобщения методов точностной оценки характеристик средств измерений и систематизации инженерных знаний по их проектированию с учетом точности. Практически во всех дисциплинах, которые изучают студенты специальности 12.03.01 – «Приборостроение» требуется точностной анализ и знание методик оценки погрешности средств измерений.

1. МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. Основные термины и определения

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства измерений и способах достижения заданной точности.

Единство измерений — это такое состояние измерений, при котором результаты измерений выражены в узаконенных единицах и известна доверительная вероятность погрешности.

Измерение величины — это процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

Измерение подразумевает сравнение величин или включает счет объектов. Измерение предусматривает описание величины в соответствии с предполагаемым использованием результата измерения, методику измерений и средство измерений, функционирующее в соответствии с регламентированной методикой измерений и с учетом условий измерений.

Измеряемая величина — величина, подлежащая измерению.

Объект измерения — материальный объект или явление, которые характеризуются одной или несколькими измеряемыми и влияющими величинами.

Точность характеризует соответствие между истинным и найденным значением физической величины.

Точность измерений (точность результата измерения) — близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

Понятие точность измерений описывает качество измерений в целом, объединяя понятия правильность и прецизионность измерений.

Правильность измерений — близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к опорному значению величины. Правильность измерений отражает близость к нулю систематической погрешности измерений.

Прецизионность измерений — близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях. Прецизионность измерений характеризует близость к нулю случайной погрешности измерения.

Измерения классифицируют в зависимости от режима измерения на статические и динамические.

Статическое измерение — измерение величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Динамический режим использования средства измерений — режим использования средства измерений, связанный с изменениями условий (факторов) за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на результат измерения (оценку измеряемой величины), в т.ч. изменение

измеряемой величины за время измерения.

Динамическое измерение — измерение, при котором средства измерений используют в динамическом режиме.

По способу получения результатов измерения разделяют на: прямые, косвенные, совокупные, совместные.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений (например, измерение длины детали микрометром, измерение силы тока амперметром, измерение массы на весах).

Термин прямое измерение возник как противоположный термину косвенное измерение. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей или шкалой. В этом случае лучше применять термин прямой метод измерений.

В основу разделения измерений на прямые, косвенные, совместные и совокупные может быть положен вид модели измерений. В этом случае граница между косвенными и прямыми измерениями размыта, поскольку большинство измерений в метрологии относится к косвенным, поскольку подразумевает учет влияющих факторов, введение поправок и т. д.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной (например, определение плотности тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы, высоты и диаметра цилиндра, связанных с плотностью уравнением:

$$\rho = \frac{m}{0,25 \pi d^2 h}.$$

Совокупные измерения — проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях (например, значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь).

Совместные измерения — проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними.

Как правило, модель совместных измерений объединяет параметрическую зависимость между измеряемыми величинами и алгоритм оценки параметров данной зависимости на основе результатов измерений.

По способу представлений результатов измерения делятся на: абсолютные, относительные.

Абсолютное измерение — измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант (например, измерение силы F основано на измерении

основной величины — массы m и использовании физической постоянной g (в точке измерения массы).

Относительное измерение — измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения (например, измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности).

По точности измерения классифицируются на: эталонные, контрольно-поверочные и технические.

Эталонные измерения предназначены для воспроизведения с наивысшей точностью и передачи единицы физической величины.

Контрольно-проверочные измерения направлены на определение точности (погрешности) измерений.

Технические измерения направлены на определение числовых значений физических величин.

1.2. Классификация средств измерения

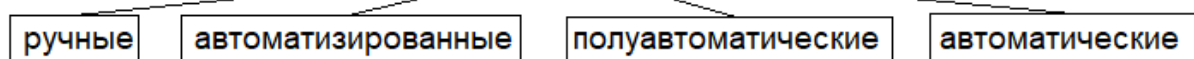
Применяемые в процессе изготовления деталей средства измерительной техники, предусмотренные технологическим процессом можно разделить на ручные, автоматизированные, полуавтоматические и автоматические измерительные системы (рис. 2.1).

Классификация средств измерения

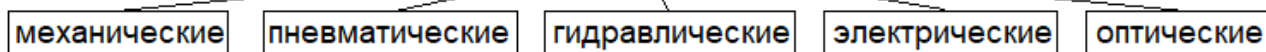
ПО ЧИСЛУ ПРОВЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ



ПО СТЕПЕНИ АВТОМАТИЗАЦИИ



ПО ПРИНЦИПУ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА



ПО МЕСТУ УСТАНОВКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

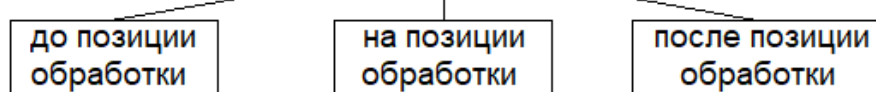


Рис. 2.1.
Классификация средств измерения

Ручные средства измерений предполагают, что все измерительные операции выполняются вручную оператором.

В **автоматизированных средствах** часть операций выполняется с участием оператора, а часть — без его участия.

Полуавтоматические средства предусматривают установку детали в загрузочный лоток в ориентированном положении.

Автоматические средства осуществляют процесс без какого-либо участия человека.

Измерительные приборы также классифицируются по следующим признакам:

- по способу индикации значений измеряемой величины — на *показывающие* и *регистрирующие*;

- по действию — на *интегрирующие* и *суммирующие*; *приборы прямого действия* и *приборы сравнения*; *аналоговые* и *цифровые приборы*; *самопишущие* и *печатающие приборы*.

- по назначению — на *универсальные* и *специальные*;

- по принципу преобразующего устройства (измерительного преобразователя) — на *механические*, *оптические*, *электрические*, *пневматические* и другие или основанные на сочетании указанных принципов, например, *оптико-механические*;

- по числу параметров, проверяемых при одной установке — на *одномерные* и *многомерные*.

В данной главе рассматриваются схемы, принципы действия и методики проведения измерения ручными средствами измерения, которые делятся на *универсальные* и *специальные*.

Универсальными называются средства измерения длин или углов в определенном диапазоне размеров вне зависимости от конфигурации измеряемого объекта (плоскопараллельные концевые меры длины, штангенинструмент, микрометрический инструмент, рычажные и рычажно-зубчатые головки, оптико-механические приборы, микроскопы и т. д.)

К средствам измерения **специального назначения** относятся средства, предназначенные для измерения деталей определенной конфигурации или для измерения определенного параметра деталей (приборы для измерения зубчатых колес, линз или других сферических поверхностей, измерения углов, резьбовых деталей и т. д.).

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

2.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы: изучение технических и метрологических характеристик универсальных средств измерений линейных величин.

2.1.1. Общие сведения

Назначение

Рассматриваемые в данном разделе универсальные средства измерения предназначены для измерений геометрических параметров деталей. Совокупность метрологических характеристик средства измерений, влияющих на точность измерения, определяет его точностные характеристики.

Метрологические характеристики СИ

К метрологическим характеристикам СИ относятся следующие параметры.

1. Длина деления шкалы.
2. Цена деления шкалы.
3. Диапазон показаний шкалы.
4. Диапазон измерений.
5. Чувствительность СИ и порог чувствительности.
6. Вариация показаний измерительного прибора.
7. Стабильность СИ.
8. Измерительное усилие прибора.
9. Предел допустимой погрешности СИ.
10. Класс точности СИ.

Длина деления шкалы — это расстояние между соседними штрихами.

Цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений [РМГ 29–2013].

Диапазон показаний шкалы — разница между конечным и начальным делением шкалы.

Диапазон измерений — множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

Чувствительность средства измерений — отношение изменения показаний средства измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины. Различают абсолютную и относительную чувствительность.

Порог чувствительности средства измерений — наименьшее значение изменения величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством измерения.

Вариация показаний измерительного прибора — разность показаний измерительного прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений

измеряемой величины.

Стабильность СИ — качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик.

Измерительное усилие прибора — усилие, действующее на измерительный элемент со стороны объекта и в обратную сторону.

2.1.2. Средства измерения геометрических величин

Плоскопараллельные концевые меры длины

Наиболее точным средством измерения в машиностроении являются плоскопараллельные концевые меры длины. Технические условия на меры длины концевые плоскопараллельные установлены в ГОСТ 9038–90. Их изготавливают из стали длиной до 1000 мм и твердого сплава длиной до 100 мм в виде прямоугольных параллелепипедов (плиток), имеющие форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями. Тщательная обработка измерительных поверхностей придает им свойство притираться друг к другу, поэтому плитки можно собирать в блоки различных размеров. Собранный блок плиток, между которыми возникли силы сцепления, не рассыпается и представляет как бы монолитную меру длины. Плитки с размерами между измерительными гранями от 0,1 до 1000 мм выпускают в виде наборов и применяют в качестве:

- рабочих мер для регулировки и настройки показывающих измерительных приборов и для непосредственного измерения линейных размеров промышленных изделий;

- образцовых мер для передачи размера единицы длины от первичного эталона концевым мерам меньшей точности и для поверки и градуировки измерительных приборов.

Номинальные значения длины концевых мер должны соответствовать указанным в таблице 2.1.

Концевые меры должны быть изготовлены следующих классов точности: 0; 1; 2; 3 — из стали; 0; 1; 2 и 3 — из твердого сплава.

Концевые меры из стали и твердого сплава классов точности 00 и 01 изготавливают по согласованию между потребителем и изготовителем.

Концевые меры при использовании в качестве образцовых (эталонных) должны быть поверены в качестве образцовых (эталонных) 1, 2, 3 и 4-го разрядов по МИ 1604.

Концевые меры комплектуют наборами, специальными наборами или отдельными мерами и комплектами наборов.

Класс точности набора определяется низшим классом отдельной меры, входящей в набор.

Таблица 2.1

Номинальные значения длины концевых мер, мм

Градация концевых мер	Номинальные значения длины концевых мер
—	1,0005
0,001	От 0,99 до 1,01 включительно » 1,99 » 2,01 » » 9,99 » 10,01 »
0,005	От 0,40 до 0,41 включительно
0,05	От 0,1 до 0,7 включительно » 0,9 » 1,5 включительно » 2 » 3 » » 9,9 » 10,1 »
0,1	От 0,1 до 3 включительно
0,5	От 0,5 до 25 включительно
1	От 1 до 25 включительно
10	От 10 до 100 включительно
25	От 25 до 200 включительно
50	От 50 до 300 включительно
100	От 100 до 1000 включительно

Размеры поперечного сечения концевых мер (a, b) должны соответствовать указанным в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Размеры поперечного сечения концевых мер, мм

Номинальные значения длины концевых мер, мм	Размер поперечного сечения $a \times b$, мм	
	a	b
от 0,1 до 0,20	$15 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,45 \end{smallmatrix}$	$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$
свыше 0,20 до 0,29	$15 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,45 \end{smallmatrix}$	$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$
	$30 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$
свыше 0,29 до 0,6	$20 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$
свыше 0,6 до 10,1	$30 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$
свыше 10,1 до 1000	$35 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$

Примеры условных обозначений:

Набор № 2 концевых мер из стали класса точности 1:

Концевые меры 1–H2 ГОСТ 9038–90

Концевая мера длиной 1,49 мм из стали класса точности 3:

Концевая мера 3–1,49 ГОСТ 9038–90

Концевые меры длины должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

Допускаемые отклонения длины концевых мер от номинальной при температуре 20°C и отклонения от плоскопараллельности измерительных поверхностей не должны превышать значений, указанных в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Допускаемые отклонения длины концевых мер от номинальной и отклонения от плоскопараллельности измерительных поверхностей

Номинальные значения длины концевых мер, мм	Допускаемые отклонения, мкм											
	длины от номинального значения $\pm$, для классов точности						от плоскопараллельности, для классов точности					
	00	01	0	1	2	3	00	01	0	1	2	3
до 0,29	—	—	—	0,2	0,4	0,8	—	—	—	0,16	0,3	0,3
свыше 0,29 до 0,9	—	—	0,12	0,2	0,4	0,8	—	—	0,1	0,16	0,3	0,3
свыше 0,9 до 10	0,06	0,2	0,12	0,2	0,4	0,8	0,05	0,05	0,1	0,16	0,3	0,3
свыше 10 до 25	0,07	0,3	0,14	0,3	0,6	1,2	0,05	0,05	0,1	0,16	0,3	0,3
свыше 25 до 50	0,1	0,4	0,2	0,4	0,8	1,6	0,06	0,06	0,1	0,18	0,3	0,3
свыше 50 до 75	0,12	0,5	0,25	0,5	1	2	0,06	0,06	0,12	0,18	0,35	0,4
свыше 75 до 100	0,14	0,6	0,3	0,6	1,2	2,5	0,07	0,07	0,12	0,2	0,35	0,4
свыше 100 до 150	0,2	0,8	0,4	0,8	1,6	3	0,08	0,08	0,14	0,2	0,4	0,4
свыше 150 до 200	0,25	1	0,5	1	2	4	0,09	0,09	0,16	0,25	0,4	0,4
250	0,3	1,2	0,6	1,2	2,4	5	0,1	0,1	0,16	0,25	0,45	0,5
300	0,35	1,4	0,7	1,4	2,8	6	0,1	0,1	0,18	0,25	0,5	0,5
400	0,45	1,8	0,9	1,8	3,6	7	0,12	0,12	0,2	0,3	0,5	0,5
500	0,5	2	1	2	4	8	0,14	0,14	0,25	0,35	0,6	0,6
600	0,6	2,5	1,3	2,5	5	10	0,16	0,16	0,25	0,4	0,7	0,7
700	0,7	3	1,5	3	6	11	0,18	0,18	0,3	0,45	0,7	0,8
800	0,8	3,2	1,6	3,2	6,5	13	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	0,8
900	0,9	3,6	1,8	3,6	7	14	0,2	0,2	0,35	0,5	0,9	0,9
1000	1	4	2	4	8	16	0,25	0,25	0,4	0,6	1	1

Допуск перпендикулярности нерабочих поверхностей относительно измерительных поверхностей должен соответствовать указанному в

таблице 2.4.

Таблица 2.4

Допуск перпендикулярности нерабочих поверхностей относительно измерительных поверхностей, мкм

Номинальные значения длины концевых мер, мм	Допуск перпендикулярности нерабочих поверхностей относительно измерительных поверхностей на длине концевой меры, мкм
от 10,5 до 25	70
свыше 25 » 60	90
свыше 60 » 150	110
свыше 150 » 400	140
свыше 400 » 1000	180

Каждый набор концевых мер и комплект наборов должен быть упакован в футляр, к которому прилагают паспорт по ГОСТ 2.601, а для образцовых концевых мер и свидетельство о проверке по МИ 1604.

Каждая концевая мера в наборе должна быть вложена в соответствующее гнездо и не выпадать из него при переворачивании закрытого футляра.

На каждой концевой мере должна быть нанесена маркировка — значение ее номинальной длины. На концевых мерах длиной 5,5 мм и менее значение номинальной длины должно быть максимально удалено от середины измерительной поверхности с тем, чтобы в ее центральной части зона длиной 9 мм оставалась свободной от надписей.

На концевых мерах длиной более 5,5 мм значение номинальной длины и товарный знак предприятия-изготовителя должны быть нанесены на нерабочей поверхности. На защитных и образцовых мерах, кроме указанной выше маркировки, должен быть нанесен отличительный знак. На концевых мерах классов точности 00, 01 и 0 допускается маркировать номер набора или другую дополнительную маркировку.

Микрометр рычажный

Рычажные микрометры предназначены для измерения наружных размеров изделий с помощью рычажно-зубчатой головки. Это одна из самых простых, недорогих, но в то же время, надежных моделей.

Прибор представляет собой скобу, в которой справа установлена микрометрическая головка, а слева — стебель с отсчетным устройством и подвижной пяткой. Микрометры имеют арретир для подвижной пятки и стопорную гайку для закрепления микрометрического винта.

Общие технические условия на рычажные микрометры и обязательные требования к ним установлены в ГОСТ 4381–87.

Рычажные микрометры изготавливают двух типов:

- МР — с отсчетным устройством, встроенным в скобу (рис. 2.2а);
- МРИ — оснащенные отсчетным устройством (рис. 2.2б).

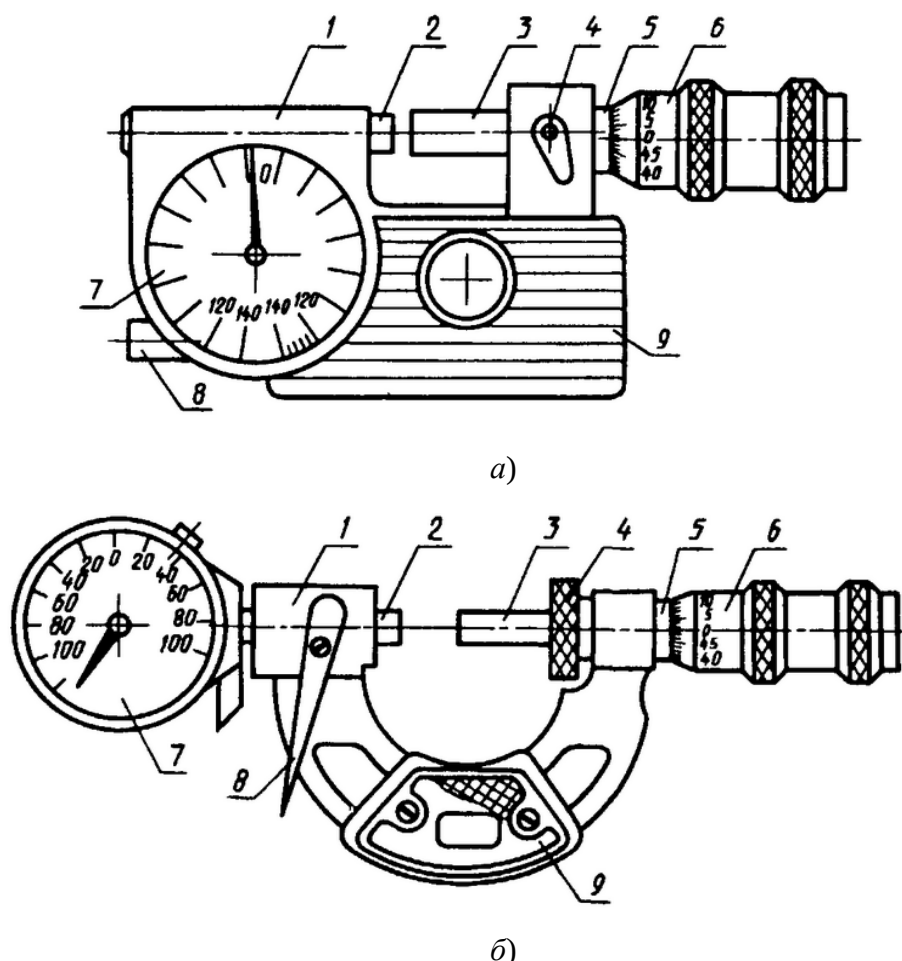


Рис. 2.2.

Внешний вид микрометров рычажных:

а) МР — с отсчетным устройством, встроенным в скобу;

б) МРИ — оснащенные отсчетным устройством

1 — скоба; 2 — подвижная пятка; 3 — микрометрический винт; 4 — стопорное устройство; 5 — стержень; 6 — барабан; 7 — отсчетное устройство; 8 — арретир; 9 — теплоизоляционная накладка

Основные параметры микрометров должны соответствовать указанным в таблице 2.5.

Цена деления шкалы барабана микрометра должна быть 0,01 мм; диапазон перемещения микрометрического винта — не менее 25 мм.

Номинальный диаметр измерительных поверхностей микрометров должен быть 8 мм.

Пример условного обозначения

- рычажного микрометра с отсчетным устройством, встроенным в корпус, и диапазоном измерений 25-50 мм:

Микрометр МР 50 ГОСТ 4381-87

- рычажного микрометра, оснащенного отсчетным устройством с ценой деления 0,01 мм и диапазоном измерений 300-400 мм:

Микрометр МРИ 400 – 0,01 ГОСТ 4381-87

Таблица 2.5

Основные параметры микрометров

Тип микрометра	Диапазон измерений, мм	Отсчетное устройство		Измерительное усилие, Н	Колебание измерительного усилия, Н, не более
		Цена деления, мм	Диапазон показаний, мм, не менее		
МР	0 – 25	0,002	$\pm 0,14$	6 ± 1	1,0
	25 – 50				
	50 – 75				
	75 – 100				
МРИ	100 – 125	0,002	$\pm 0,10$	8 ± 2	2,0
	125 – 150				
	150 – 200				
	200 – 250				
	250 – 300				
	300 – 400				
	400 – 500				
	300 – 400	0,01	2	8 ± 2	2,0
	400 – 500				
	500 – 600				
	600 – 700	0,01	5	10 ± 2	2,5
	700 – 800				
	800 – 900				
	900 – 1000				
	1000 – 1200	0,01	10	10 ± 2	2,5
	1200 – 1400				
	1400 – 1600				
	1600 – 1800				
	1800 – 2000				

Предел допускаемой погрешности микрометра вместе с отсчетным устройством в любом рабочем положении и допуск параллельности плоских измерительных поверхностей при нормируемом измерительном усилии и температуре окружающей среды $(20 \pm 4)^\circ\text{C}$, и относительной влажности до 80% (при температуре 23°C), а также допускаемое изменение показаний микрометра от изгиба скобы при усилии 10 Н, направленном по оси микрометрического винта, должны соответствовать значениям, указанным в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Погрешности микрометров

Диапазон измерений, мм	Пределы допускаемой погрешности, мкм, микрометров типа				Допуск параллельности плоских измерительных поверхностей микрометра, мкм	Допускаемое изменение показаний микрометра от изгиба скобы при усилии 10 Н, мкм
	МР	МРИ				
	с ценой деления отсчет устройства, мм					
	0,002		0,01			
	на участках шкалы, мм					
	±0,03	±0,1	0,1	1,0		
0 – 25	±3	—	—	—	0,9	2
25 – 50	±3	—	—	—	1,0	2
50 – 100	±3	—	—	—	1,2	3
100 – 150	—	±4	—	—	3,0	4
150 – 200	—	±4	—	—	3,5	5
200 – 300	—	±5	—	—	4	6
300 – 400	—	±6	±7	—	—	8
400 – 500	—	±7	±8	—	—	10
500 – 600	—	—	±10	—	—	12
600 – 700	—	—	—	±12	—	14
700 – 800	—	—	—	±14	—	16
800 – 900	—	—	—	±16	—	18
900 – 1000	—	—	—	±18	—	20
1000 – 1200	—	—	—	±20	—	22
1200 – 1400	—	—	—	±25	—	25
1400 – 1600	—	—	—	±28	—	28
1600 – 1800	—	—	—	±32	—	32
1800 – 2000	—	—	—	±36	—	36

Конструкцией микрометров обеспечена возможность установки их в нулевое положение при контакте измерительных поверхностей между собой или с установочной мерой. При таком совмещении начальный штрих шкалы стебля должен быть виден целиком, а расстояние от торца конической части барабана до ближайшего края штриха не должно превышать 0,1 мм.

Микрометры с верхним пределом измерений 50 мм и более снабжают установочными мерами.

Измерительные головки

Измерительными головками называют измерительные приборы,

преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки по шкале.

Измерительные головки используются в основном для относительных измерений, замера отклонений, неровностей, биений поверхностей валов.

Наибольшее распространение получили индикаторы часового типа.

Индикатор часового типа

Индикатор часового типа — измерительный прибор, предназначенный для абсолютных и относительных измерений и контроля отклонений от заданной геометрической формы детали, а также взаимного расположения поверхностей.

В цилиндрическом корпусе прибора размещена реечно-зубчатая и шестерёнчатые передачи, преобразующие возвратно-поступательное движение измерительного стержня во вращательное движение стрелки прибора. В конструкцию индикатора входит пружина, исключая люфты шестерёночных передач, то есть зацепление зубчатых колёс происходит всегда с одной стороны профиля зубьев.

Для удобства настройки прибора на нуль при выполнении относительных измерений шкала прибора выполнена поворачивающейся.

Стрелка индикатора чаще всего — многооборотная, обычно один оборот стрелки соответствует перемещению измерительного наконечника на 1 мм. В некоторых моделях на приборе имеется вторая стрелка и малый циферблат, который показывает количество полных оборотов большой стрелки.

Наиболее распространены индикаторы с ценой деления 0,01 мм, поскольку большую точность трудно обеспечить реечно-зубчатой передачей. Большая стрелка такого прибора делает один оборот при смещении измерительного стержня на 1 мм, малая стрелка — при смещении на 10 мм.

На рабочем конце измерительного стержня большинства моделей находится твердосплавный шарик в сменной оправе, которым при измерении касаются измеряемой детали. Механизм индикатора имеет возвратную пружину, закрепленную между корпусом индикатора и стержнем. Эта пружина создает измерительное усилие на стержне.

Индикаторы часового типа выпускаются классов точности 0 и 1. Погрешность измерений индикатором часового типа зависит от измеряемой величины. Так в диапазоне измерений 1 – 2 мм погрешность находится в пределах 10 – 15 мкм, а в диапазоне 5 – 10 мм погрешность увеличивается до 18 – 22 мкм.

Основные параметры и размеры индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм и диапазонами измерений до 25 мм установлены в ГОСТ 577–68.

Индикаторы изготавливают с диапазонами измерений: 0 – 2, 0 – 5, 0 – 10, 0 – 25 мм.

Индикаторы с диапазоном измерения 0–2 мм изготавливают двух исполнений:

- ИЧ — с перемещением измерительного стержня параллельно шкале (рис. 2.3а);

- ИТ — с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале (рис. 2.3б).

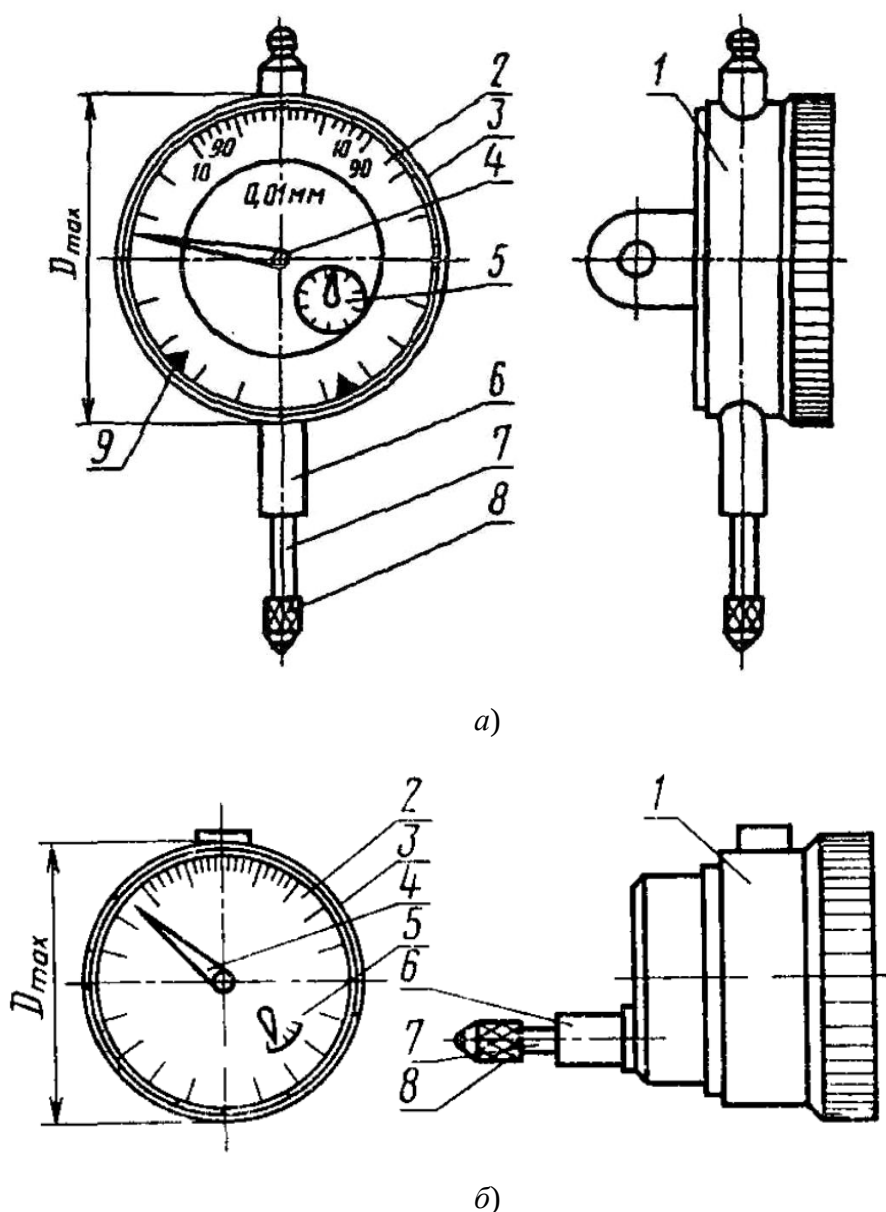


Рис. 2.3.

Внешний вид индикаторов часового типа:

а) исполнения ИЧ; б) исполнения ИТ

1 — корпус; 2 — циферблат; 3 — ободок; 4 — стрелка; 5 — указатель; 6 — гильза; 7 — измерительный стержень; 8 — измерительный наконечник; 9 — указатель поля допуска

Пример условного обозначения:

Индикатор исполнения ИЧ с диапазоном измерения 0—2 мм, обыкновенного, класса точности 0:

Индикатор ИЧ02 кл.0 ГОСТ 577–68

Метрологические характеристики индикаторов не должны превышать значений, указанных в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Метрологические характеристики индикаторов

Класс точности	Наибольшая разность погрешностей индикатора, мкм							Размах показаний индикатора для диапазона измерения, мкм		Вариация показаний индикатора для диапазона измерения, мкм	
	на любом участке диапазона измерения, мм		во всем диапазоне измерения, мм					до 10 мм	св 10 мм	до 10 мм	св. 10 мм
	$\Delta 0,1$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 5$	$\Delta 10$	$\Delta 25$				
0	4	8	10	10	12	15	22	3	5	2	5
1	6	10	12	15	16	2	30	3	6	3	6

Примечание:

1. Под $\Delta 0,1$ и $\Delta 1$ понимают алгебраические разности ординат самой высокой и самой низкой точек кривой погрешностей индикатора в пределах любого участка длиной соответственно 0,1 мм и 1 мм диапазона измерений при прямом или обратном ходе измерительного стержня.

2. Под $\Delta 2$, $\Delta 3$, $\Delta 5$, $\Delta 10$ и $\Delta 25$ понимают алгебраические разности ординат самой высокой и самой низкой точек кривой погрешностей индикатора с диапазоном измерения соответственно 0-2 мм ($\Delta 2$), 0-3 мм ($\Delta 3$), 0-5 мм ($\Delta 5$), 0-10 мм ($\Delta 10$) и 0-25 мм ($\Delta 25$) при прямом или обратном ходе измерительного стержня.

Измерительное усилие и его колебание не должно превышать значений, указанных в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Измерительное усилие индикаторов и его колебание, H

Тип	Диапазон измерений, мм	Наибольшее измерительное усилие при прямом ходе, H	Колебание измерительного усилия, H	
			при прямом или обратном ходе	при изменении направления движения измерительного стержня
ИЧ02	0-2	1,5	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$
ИЧ05	0-5		$\pm 0,6$	
ИЧ10	0-10			
ИЧ25	0-25	3	$\pm 1,8$	± 1

Головки измерительные пружинные

Пружинные измерительные головки считаются самыми точными рычажно-механическими измерительными устройствами. Здесь чувствительным

элементом выступает скрученная лента со стрелкой. Перемещаясь, рычаг воздействует на пружину, изменяя её длину, что приводит к повороту стрелки. Благодаря отсутствию трения в этой конструкции, достигается высокая точность показаний. Цена деления у таких приборов достигает 0,1 мкм (или 0,0001 мм). Измерительные пружинные головки обладают значительными преимуществами перед другими типами подобных приборов: простота конструкции, высокая надежность и долговечность работы механизма, высокая чувствительность, отсутствие мертвого хода, малое измерительное усилие, незначительная погрешность обратного хода. Основные недостатки этих головок: неудобство отсчета показаний по слишком тонкой стрелке и наличие вибраций стрелки, что увеличивает ошибки измерений.

Все пружинные измерительные головки делятся на 4 вида:

1. *Микрокаторы* — головки измерительные пружинные ИПГ (ГОСТ 28798–90).

2. *Оптикаторы* — головки измерительные пружинно-оптические П (ГОСТ 28798–90).

3. *Микаторы* — головки измерительные пружинные малогабаритные ИПМ (ГОСТ 28798–90).

4. *Миникаторы* — головки измерительные рычажно-пружинные ИРП, ИРПВ.

Общие технические условия и обязательные требования, а также типы и основные параметры измерительных пружинных головок осевого действия установлены в ГОСТ 28798–90.

Измерительные головки изготавливают следующих типов:

1. С нерегулируемым измерительным усилием

- ИПГ — с нормальным измерительным усилием;
- ИГПВ — виброустойчивые;
- ИГПВГ — виброустойчивые герметизированные (предназначены для работы в условиях 100%-ной влажности);
- П — пружинно-оптические;
- ИПМ — пружинные малогабаритные (микаторы);
- ИПМУ — пружинные малогабаритные с уменьшенным измерительным усилием.

2. С регулируемым измерительным усилием

- ПР — пружинно-оптические.

Типы, основные параметры измерительных головок должны соответствовать указанным в таблице 2.9.

Допускаемая погрешность, размах и вариация показаний головок при их поверке при температуре окружающей среды $(20 \pm 4)^\circ\text{C}$ не должны превышать значений, указанных в таблице 2.10.

Таблица 2.9

Типы, основные параметры измерительных головок

Тип	Цена деления шкалы, мкм	Обозначение	Диапазон показаний, мкм, не менее	Измерительное усилие, Н, не более	Колебание измерительного усилия, Н, не более
ИГП	0,1	01ИГП	± 4	1,5	$\pm 0,2$
	0,2	02ИГП	± 6	1,5	$\pm 0,2$
	0,5	05ИГП	± 15	1,5	$\pm 0,2$
	1,0	1ИГП	± 30	2,0	$\pm 0,5$
	2,0	2ИГП	± 60	2,0	$\pm 0,5$
	5,0	5ИГП	± 150	3,0	$\pm 1,0$
ИГПВ	0,1	01ИГПВ	± 4	1,5	$\pm 0,2$
	0,2	02ИГПВ	± 6	1,5	$\pm 0,2$
	0,5	05ИГПВ	± 15	1,5	$\pm 0,3$
ИГПВГ	1	1ИГПВГ	± 30	2,0	$\pm 0,3$
	2	2ИГПВГ	± 60	2,0	$\pm 0,5$
П	0,1	01П	± 12	1,5	$\pm 0,3$
	0,2	02П	± 25	1,5	$\pm 0,3$
	0,5	05П	± 50	1,5	$\pm 0,5$
ИПМ	0,2	02ИПМ	± 10	1,0	$\pm 0,25$
	0,5	05ИПМ	± 25	1,5	$\pm 0,3$
	1	1ИПМ	± 50	1,5	$\pm 0,3$
	2	2ИПМ	± 100	1,5	$\pm 0,3$
ИПМУ	0,5	05ИПМУ	± 25	0,5	$\pm 0,2$
	1	1ИПМУ	± 50	0,5	$\pm 0,2$

Таблица 2.10

Допускаемая погрешность, размах и вариация показаний измерительных головок

Тип	Цена деления шкалы, мкм	Обозначение	Предел допускаемой погрешности от нулевого штриха в пределах всей шкалы, мкм	Размах показаний (из 10 измерений) в делениях шкалы	Вариация показаний в делениях шкалы
ИГПВ	0,1	01ИГПВ	$\pm 0,08$	1/3	—
	0,2	02ИГПВ	$\pm 0,10$	1/3	—
	0,5	05ИГПВ	$\pm 0,15$	1/3	—
ИГПВГ	1	1ИГПВГ	$\pm 0,30$	1/4	—
	2	2ИГПВГ	$\pm 0,60$	1/4	—

Тип	Цена деления шкалы, мкм	Обозначение	Предел допускаемой погрешности от нулевого штриха в пределах всей шкалы, мкм	Размах показаний (из 10 измерений) в делениях шкалы	Вариация показаний в делениях шкалы
П	0,1	01П	$\pm 0,06$	1/3	—
	0,2	02П	$\pm 0,10$	1/3	—
	0,5	05П	$\pm 0,15$	1/3	—
ИПМ	0,2	02ИПМ	$\pm 0,15$	1/2	1/3
	0,5	05ИПМ	$\pm 0,25$	1/4	1/3
	1	1ИПМ	$\pm 0,50$	1/4	1/3
	2	2ИПМ	$\pm 1,00$	1/4	1/3
ИПМУ	0,5	05ИПМУ	$\pm 0,25$	1/4	1/3
	1	1ИПМУ	$\pm 0,50$	1/4	1/3

Головки типов ИГПВ, П, ИПМУ и типоразмеров 1ИГПВГ и 02ИПМ изготавливают для работы в вертикальном положении наконечником вниз, а головки типоразмеров 2ИГПВГ, 05ИПМ, 1ИПМ и 2ИПМ — для работы в любом положении.

Внешний вид головки измерительная (микрокатора) 1ИГП показан на рисунке 2.4.



а)



б)



в)

Рис. 2.4.

Внешний вид головки измерительной (микрометра) ИИГП:
а) с защитным колпаком; б) без защитного колпака; в) в футляре

2.1.3. Подготовка средства измерения к работе

1. Подготовка концевых мер длины:

- убедиться, что каждая мера освобождена от смазки;
- тщательно промыть авиационным бензином по ГОСТ 1012–72;
- вытереть насухо чистой сухой салфеткой из хлопчатобумажной ткани.

2. Установить и закрепить в измерительную стойку средство измерения (микрометр рычажный, индикатор часового типа или головку измерительную пружинную).

2.1.4. Методика проведения измерений

Микрометр рычажный, индикатор часового типа, головка измерительная пружинная являются приборами, реализующим метод сравнения с мерой. Процесс измерения на нем деталей включает следующие операции, если номинальный размер и допуск известны (заданы преподавателем):

1. Составление блока концевых мер размером « x », соответствующим середине интервала допуска.
2. Настройка средства измерения на ноль по блоку концевых мер.
3. Измерение деталей и определение показаний « Δx ».
4. Нахождение действительных размеров контролируемых деталей:

$$R = x \pm \Delta x,$$

где x — номинальный размер измеряемой детали, мм; Δx — показания трубки оптиметра, мм.

2.1.5. Содержание работы

1. Изучить классификацию средств измерений.
2. Изучить способы представления погрешностей средств измерений и способы их нормирования.
3. Изучить технические и метрологические характеристики средств измерения линейных размеров: концевые меры длины, микрометры рычажные, индикатор часового типа, измерительные пружинные головки.
4. Провести сравнительную оценку технических и метрологических характеристик по следующим параметрам: диапазон; тип средства измерения (однозначные, многозначные меры, измерительный преобразователь, измерительный прибор, информационная измерительная система); величина погрешности измерения; способ нормирования погрешности измерения (абсолютная, относительная, приведенная); класс точности СИ.
5. Провести настройку рычажного микрометра, индикатора часового типа, измерительной пружинной головки и измерение размеров заданных деталей.
6. Сделать заключение по указанным в п.4 параметрам, оформить отчет по лабораторной работе.

2.1.6. Порядок выполнения работы

1. Провести сравнительную оценку технических и метрологических характеристик СИ по диапазону измерений, показаний и цене деления шкалы. Результаты представить в виде таблицы 2.11.

Таблица 2.11

Сравнительная оценка технических и метрологических характеристик СИ по диапазону измерений, показаний и цене деления шкалы

Наименование СИ	Мод.	Диапазон измерения, мм	Максимальный диапазон, мм	Диапазон показаний по шкале	Цена деления шкалы, мкм
Микрометры рычажные	МР				
	МРИ				
Индикаторы часового типа	ИЧ02				
	ИЧ05				
	ИЧ10				
	ИЧ25				
Измерительные пружинные головки	ИГП				
	П				
	ИПМ				
	ИПМУ				

2. Определить и провести сравнительную оценку погрешности СИ. Результаты сравнительной оценки представить в форме таблицы 2.12.

Таблица 2.12

Сравнительная оценка погрешности СИ

Наименование СИ	Допускаемые отклонения								
	длины мер, мкм, для класса точности				от плоскопараллельности, мкм				
	0	1	2	3	0	1	2	3	
Концевые меры длины									
Микрометры рычажные	Предел допускаемой погрешности, мкм, микрометров типа				Отклонения от параллельности плоских измерительных наконечников				
Диапазон измерения, мм									МР
0 – 25									
25 – 50									
50 – 75									
75 – 100									
100 – 125									
125 – 150									
150 – 200									
Индикаторы часового типа	Наибольшая погрешность, мкм				Вариация показаний для диапазона измерений, мкм				
Класс точности	Δ01	Δ1	Δ2	Δ5	Δ25	до 10 мм		св. 10 мм	
0									
1									
Измерительные пружинные головки	Предел допускаемой погрешности в пределах всей шкалы, мкм			Размах показаний (из 10 измерений)					
Тип головки				в делениях шкалы			в мкм		
ИГП									
П									
ИПМ									
ИПМУ									

3. Определить класс точности средств измерений и способы нормирования погрешности измерения. Результаты занести в таблицу 2.13.

4. Настроить измерительное средство и провести измерение наружных размеров заданных деталей. Количество измерений определяет преподаватель.

Результаты измерений занести в таблицу 2.14.

Таблица 2.13

Класс точности средств измерений и способы нормирования погрешности измерения

Наименование СИ	Класс точности	Способ нормирования погрешности
Концевые меры длины		
Микрометры рычажные		
Индикаторы часового типа		
Измерительные пружинные головки		

Таблицу 2.14

Результаты измерений

	Наименование СИ	Тип СИ	Номинальный размер детали, мм	Измеренное значение x_i , мм	Результат измерения $x = \sum x_i / n$, мм
1.	Микрометр рычажный				
2.	Индикатор часового типа				
3.	Головка измерительная пружинная				

2.1.7. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Основные технические и метрологические характеристики средств измерения.
3. Таблицы сравнительных оценок СИ по заданным параметрам: диапазону измерения, погрешности, классам точности и способам нормирования погрешности измерения.
4. Таблица результатов измерений (табл. 2.14).
5. Выводы по работе.

2.1.8. Контрольные вопросы

1. Классификация средств измерений.
2. Что такое мера?
3. Что такое измерительный прибор?
4. Понятие измерительный преобразователь и измерительная информационная система?
5. Способы нормирования погрешностей средств измерений?
6. Классификация погрешностей средств измерений?
7. Что такое аддитивная и мультипликативная погрешности?
8. Классы точности средств измерений и их обозначений?

2.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ПОВЕРКА РЫЧАЖНОГО МИКРОМЕТРА ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ КОНЦЕВЫМИ МЕРАМИ ДЛИНЫ

Цель работы: ознакомление студентов с конструкцией, принципом измерения и методикой поверки рычажных микрометров.

2.2.1. Общие сведения

Назначение

Рычажные микрометры (микрометры типа МР) предназначены для абсолютных измерений наружных размеров деталей (диаметров, высоты, толщины). Рычажные микрометры могут применяться также для относительных измерений при настройке их по концевым мерам длины.

Метрологическая характеристика прибора

Метрологические характеристики рычажных микрометров представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Метрологические характеристики рычажных микрометров

Мод.	Пределы измерения, мм	Отсчетное устройство		Ход микрометрического винта, мм	Предел допускаемой погрешности, мм
		Цена деления, мм	Пределы показаний, мм		
МР	0...25; 25...50	0,002	$\pm 0,02$	25	$\pm 0,003$

Конструкция прибора

Микрометры типа МР имеют встроенные внутри корпуса рычажно-зубчатые передаточные механизмы.

Внешний вид рычажного микрометра показан на рисунке 2.5.

Рычажный микрометр включает в себя следующие элементы: скобу 1, подвижную пятку 2, микрометрический винт 3, стопорную гайку 4, стебель 5, на котором нанесена шкала с ценой деления 0,5 мм, барабан 6 со шкалой (цена деления шкалы 0,01 мм), гайку 7 крепления барабана 6, кнопку 8 арретира

подвижной пятки 2, указатели 9 пределов поля допуска, стрелку 10 и шкалу отсчетного устройства с ценой деления 0,002 мм.

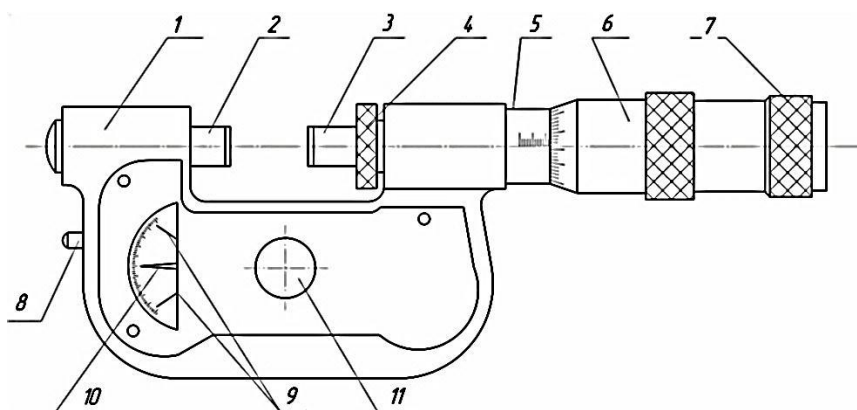


Рис. 2.5.

Внешний вид рычажного микрометра

1 — скоба, 2 — подвижная пятка, 3 — микрометрический винт, 4 — стопорная гайка, 5 — стебель, 6 — барабан, 7 — гайка, 8 — арретир, 9 — указатели интервала допуска, 10 — стрелка

2.2.2. Подготовка прибора к работе

Перед началом работы необходимо произвести настройку прибора. Настройка микрометра осуществляется следующим образом: поместить концевую меру длины между микрометрическим винтом 3 и подвижной пяткой 2 и вращая микрометрический винт, установить стрелку отсчетного устройства на ноль, а затем закрепить стопорную гайку 4. Освободить гайку 7 крепления барабана 6, повернуть его таким образом, чтобы нулевой штрих шкалы барабана совпал с горизонтальным штрихом шкалы на стебле 5 и закрепить барабан гайкой 7.

2.2.3. Методика поверки

Определение погрешности показаний по шкале отсчетного устройства

Погрешность показаний по шкале отсчетного устройства (без учета погрешности микрометрического винта) во всем диапазоне показаний по шкале $\pm 0,02$ мм не должна превышать $\pm 0,5$ цены деления, что соответствует $[\Delta_{\text{ш}}] = \pm 1$ мкм для микрометров типа МР.

Определение погрешности показаний по шкале отсчетного устройства рычажно-зубчатого механизма производится в десяти точках шкалы с помощью концевых мер длины 4-го разряда, имеющих следующие размеры: 1,0; 1,002; 1,006; 1,01; 1,02 мм.

Порядок проведения поверки следующий.

Концевую меру размером 1,0 мм помещают между измерительными поверхностями микрометра, устанавливают на шкале рычажно-зубчатого механизма нулевой отсчет и фиксируют микрометрический винт 3 стопорной гайкой 4. Затем, удалив эту меру, пользуясь кнопкой арретира 8, последовательно помещают на ее место остальные меры и фиксируют показания по шкале отсчетного устройства. Результаты заносятся в таблицу.

Таким образом, поверяется правая часть шкалы.

Не удаляя меру размером 1,02 мм, откручивают стопорную гайку 4, с помощью микрометрического винта вновь устанавливают на шкале нулевой отсчет и фиксируют микрометрический винт гайкой 4. Процесс поверки повторяют в обратном порядке, в результате чего стрелка будет перемещаться по левой части шкалы. Результаты также заносятся в таблицу.

Определение вариации показаний

Вариация показаний в пределах шкалы отсчетного устройства не должна превышать $1/3$ цены деления шкалы, что соответствует $[\Delta_v] = 0,7$ мкм для микрометров типа МР.

Вариацию показаний определяют для нулевого, верхнего и нижнего участков шкалы отсчетного устройства микрометра, закрепленного в стойке, путем 5-кратного арретирования подвижной пятки 2, приводя ее в контакт с измерительной поверхностью микрометрического винта 3 у микрометров с пределами измерений 0...25 мм. Стопорную гайку 4 при определении вариации показаний фиксируют. После каждого арретирования производят отсчет по шкале отсчетного устройства.

Разность между наибольшим и номинальным показаниями принимают за вариацию показаний, которая не должна превышать установленного допуска.

Определение погрешности показаний микрометров

Погрешность показаний рычажных микрометров в любом рабочем положении не должна превышать $[\Delta_n] = \pm 3$ мкм для микрометров типа МР.

Определение погрешности показаний микрометров типа МР производится в нескольких точках шкалы микрометрического винта и рычажно-зубчатого механизма отсчетного устройства путем непосредственного сравнения показаний микрометра с длиной плоскопараллельных концевых мер (блоков мер) 4-го разряда.

В соответствии с поверяемыми точками шкал микрометров рекомендуются меры или блоки мер, указанные в таблице 2.16.

Таблица 2.16

Рекомендуемые значения длин концевых мер для поверки шкал микрометров

Модель микрометра	Пределы измерений, мм	Значения длин концевых мер, мм
МР	0...25	5,12; 10,24; 15,36; 21,48; 25,0
	25...50	30,12; 35,24; 40,36; 46,48; 50,0

Определение погрешности показаний микрометров может производиться в других точках с условием, что точки шкалы будут проверены не на одном обороте, а на всем пределе перемещения микрометрического винта.

При поверке микрометрический механизм устанавливают в положение, соответствующее номинальному размеру концевых мер, а отсчеты после установки мер снимают по шкале рычажно-зубчатого механизма.

Например, при поверке по концевым мерам (блокам мер) номинальных

размеров 5,12; 10,24 мм и т. д. на шкале микрометрического механизма устанавливают показания 5,12; 10,24 мм.

Результаты измерения концевых мер (блоков мер) не должны отличаться от указанных в аттестате более, чем на величину допускаемой погрешности показаний микрометра $[\Delta_n]$.

2.2.4. Содержание работы

1. Изучить конструкцию и методику настройки рычажного микрометра.
2. Изучить методики определения погрешности показаний по шкале отсчетного устройства и вариации показаний микрометра.
3. Изучить методику определения погрешности показаний микрометра в нескольких точках шкалы микрометрического винта.
4. Провести поверку микрометра по указанным параметрам.
5. Сделать заключение о годности микрометра, оформить отчет по выполненной работе.

2.2.5. Порядок выполнения работы

Поверка микрометра рычажного проводится в следующей последовательности:

1. Определение погрешности показаний по шкале отсчетного устройства (правая и левая часть шкалы). Результаты заносятся в таблицу 2.17.

Таблица 2.17

Результаты поверки погрешности показаний по шкале отсчетного устройства

Размер меры, мм	Правая часть шкалы		Левая часть шкалы	
	Показание по шкале, мкм	Погрешность Δ , мкм	Показание по шкале, мкм	Погрешность Δ , мкм
1,0				
1,002				
1,006				
1,01				
1,02				
Заключение о годности				

2. Определение вариации показаний.

Вариацию показаний определяют для нулевого, верхнего и нижнего участков шкалы отсчетного устройства. Вариация показаний не должна превышать установленного допуска. Результаты определения вариации показаний заносят в таблицу 2.18.

Таблица 2.18

Результаты определения вариации показаний

Участок шкалы, мм	№ измерений	Показания по шкале, мкм	Вариация показаний, мкм	Допуск, мкм	Заключение о годности
«+0,02»	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
«0»	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
«-0,02»	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

3. Определение погрешности показаний микрометров

Погрешность показаний рычажных микрометров в любом рабочем положении не должна превышать $[\Delta_p] = \pm 3$ мкм.

Проверка производится при горизонтальном положении микрометра скоба снизу. Результаты проверки заносятся в таблицу 2.19.

Таблица 2.19

Результаты поверки погрешности показаний микрометра

Тип	Пределы измерения, мм	Номинальный размер мер (блоков), мм	Отклонение измеренного значения меры от номинального, мкм	Заклучение о годности
МР	0...25	5,12		
		10,24		
		15,36		
		21,48		
		25,00		

2.2.6. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Метрологические характеристики микрометров типа МР.
3. Таблицы результатов поверки погрешности показаний по шкале, вариации показаний и погрешности показаний микрометра.

4. Вывод.

2.2.7. Контрольные вопросы

1. Назначение и устройство микрометров.
2. Приведите основные метрологические характеристики рычажных микрометров типа МР.
3. Как осуществляется настройка микрометров?
4. Как определить погрешность показаний по шкале отсчетного устройства микрометра?
5. Как определить вариацию показаний?
6. В каких точках определяется погрешность показаний микрометра?

2.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ИЗНОСА КАЛИБРА-СКОБЫ С ПОМОЩЬЮ КОНЦЕВЫХ МЕР

Цель работы: ознакомление студентов с контрольными калибрами, классификацией, назначением, областью применения, классами точности, разрядами и правилами составления блоков концевых мер.

2.3.1. Общие сведения

Назначение

Калибры — средства измерительного контроля, предназначенные для проверки соответствия действительных размеров, формы и расположения поверхностей деталей заданным требованиям.

Калибры применяют для контроля деталей в массовом и серийном производствах. Калибры бывают нормальные и предельные.

Нормальный калибр — однозначная мера, которая воспроизводит среднее значение (значение середины поля допуска) контролируемого размера. При использовании нормального калибра о годности детали судят по зазорам между поверхностями детали и калибра. Оценка зазора, следовательно, результаты контроля в значительной мере зависят от квалификации контролера и имеют субъективный характер.

Предельные калибры обеспечивают контроль по наибольшему и наименьшему предельным значениям параметров. Изготавливают предельные калибры для проверки размеров цилиндрических и конических поверхностей, глубины и высоты уступов, параметров резьбовых и шлицевых поверхностей деталей. Изготавливают также калибры для контроля расположения поверхностей деталей, нормированных позиционными допусками, допусками соосности и др.

При контроле предельными калибрами деталь считается годной, если проходной калибр под действием силы тяжести проходит через контролируемый элемент детали, а непроходной калибр — не проходит. Результаты контроля практически не зависят от квалификации оператора.

По конструкции калибры для контроля сопрягаемых поверхностей (цилиндрических, шлицевых, резьбовых) делятся на пробки и скобы. Для контроля отверстий используют калибры-пробки, для контроля валов —

калибры-скобы.

Внешний вид калибра-скобы показан на рисунке 2.6.



Рис. 2.6.

Внешний вид калибра-скобы

Калибры для контроля валов нормированы следующими стандартами:

ГОСТ 18358–93, ГОСТ 18360–93, ГОСТ 18365–93, ГОСТ 18367–93
«Калибры-скобы для диаметров от 1 до 360 мм. Конструкция и размеры»;

ГОСТ 16775–93 «Калибры-скобы гладкие, оснащенные твердым сплавом, для диаметров от 3 до 180 мм. Размеры».

Комплект рабочих предельных калибров для контроля цилиндрических поверхностей деталей включает:

- *проходной калибр* (ПР), номинальный размер которого равен наибольшему предельному размеру вала или наименьшему предельному размеру отверстия;

- *непроходной калибр* (НЕ), номинальный размер которого равен наименьшему предельному размеру вала или наибольшему предельному размеру отверстия.

Стандартом установлены следующие допуски на изготовление калибров:

H — допуск на изготовление калибров для отверстия;

H_s — допуск на изготовление калибров со сферическими измерительными поверхностями (для отверстия);

H_1 — допуск на изготовление калибров для вала;

H_p — допуск на изготовление контрольного калибра для скобы.

Износ проходных калибров ограничивают значениями:

Y — допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия за границу поля допуска изделия;

Y_1 — допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала за границу поля допуска изделия.

Для калибра-скобы установлен допуск H_1 , который используется при изготовлении этого калибра. Для калибра *ПР* помимо допуска на изготовление H_1 установлено отклонение Y_1 на износ. Объясняется это тем, что непроходная сторона *НЕ* калибра-скобы при контроле изделия почти не соприкасается своей измерительной поверхностью детали, а проходная сторона *ПР*, проходя через годную деталь, соприкасается с поверхностью контролируемой детали, изнашивается и поэтому для проходной стороны *ПР* калибра-скобы устанавливается величина допуска на износ.

На эскизах рабочих калибров следует указывать:

- исполнительные размеры. **Исполнительные размеры** — это размеры калибра, по которому изготавливаются новые калибры. Для калибров-скоб — наименьший размер с положительным отклонением H_1 ;

- допуски формы, а при необходимости и расположения калибров. Числовые значения допусков формы выбирают из ГОСТ 24853–81 в зависимости от качества допусков изделий;

- шероховатость поверхности. Числовое значение высотного параметра шероховатости не должно превышать значения, установленного в ГОСТ 2015–84;

- другие размеры, необходимые для изготовления;

- твердость рабочих поверхностей в соответствии с требованиями ГОСТ 2015–84;

- маркировку калибров.

При маркировке на поверхность калибра наносят:

- номинальный размер поверхности, для контроля которой предназначен калибр;

- класс допуска контролируемой поверхности;

- тип калибра (*ПР*, *НЕ*, *К-ПР* и т. д.);

- числовые значения предельных отклонений (в миллиметрах) в соответствии с интервалом допуска контролируемой поверхности;

- товарный знак завода-изготовителя.

Эскиз калибра-скобы представлен на рисунке 2.7.

Плоскопараллельными концевыми мерами длины (ПКДМ) называют меры, имеющие форму прямоугольного параллелепипеда или реже цилиндра с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями. Концевые меры длины (КМД) выполняют в виде прямоугольных призм, у которых по две рабочих поверхности выполнены (доведены) наиболее тщательно по чистоте поверхности, плоскостности, параллельности и размерам между измерительными плоскостями.

Концевые меры выпускаются наборами, которые могут состоять из 83 (набор №1), 38 (набор №2), 10 (набор №4) и т. д. мер.

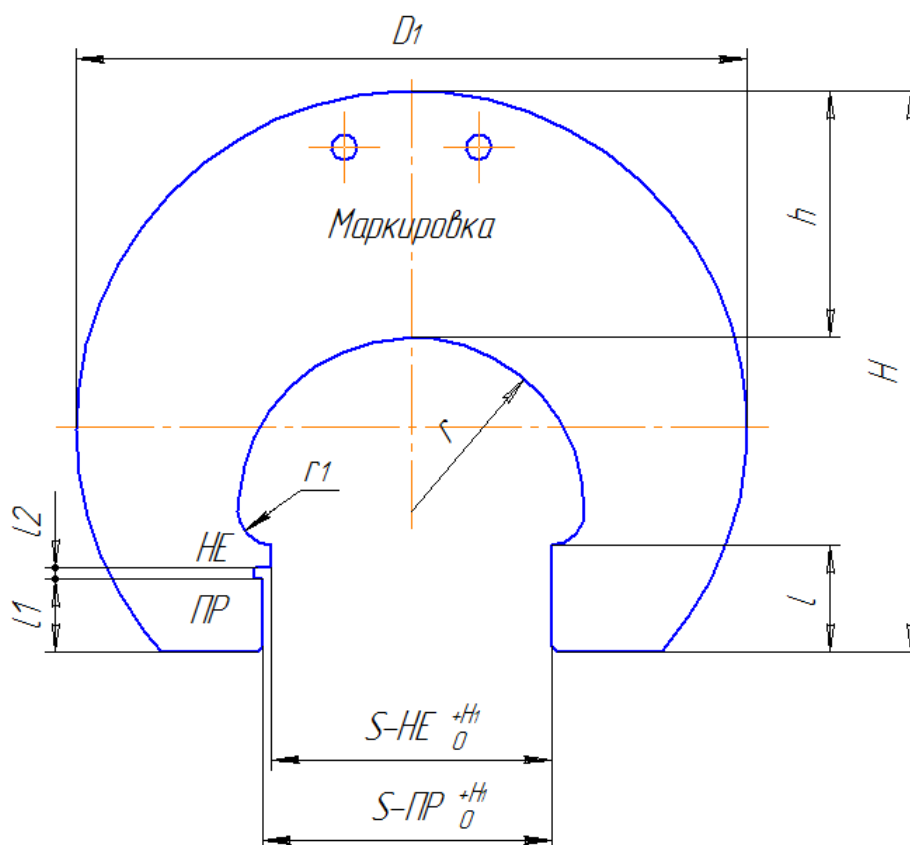


Рис. 2.7
Эскиз калибра скобы

Примечание: Вместо слова «маркировка» следует написать маркировку по ГОСТ 2015–84.

На каждой мере нанесена **маркировка** — значение ее номинальной длины. К наборам прилагаются аттестаты, в которых указаны номинальные размеры плиток, отклонения от номинальных размеров, разряд набора, средства измерения, используемые при аттестации.

Нормируемые параметры концевой меры:

- *длина* — длина перпендикуляра, опущенного из данной точки измерительной поверхности концевой меры на ее противоположную измерительную поверхность;

- *отклонение длины от номинальной* — наибольшая по абсолютному значению разность между длиной концевой меры в любой точке и номинальной длиной концевой меры;

- *отклонение от плоскостности и параллельности* — разность между наибольшей и наименьшей длинами концевой меры.

Концевые меры длины применяют для точных измерений линейных размеров, как на производстве, так и в лабораториях и считают самым надежным и точным средством измерений.

В российских стандартах меры подразделяются на образцовые и рабочие. Первые используются в качестве исходных эталонов в калибровочных и

измерительных лабораториях для поверки инструментов и рабочих мер. При производстве, для задания размеров и настройки станков, используются рабочие концевые меры длины. ГОСТ 9038–90 устанавливает следующие классы точности концевых мер: 00; 01; 0; 1; 2; 3. Класс точности концевой меры определяется точностью их изготовления. Он показывает, какое отклонение имеет действительный размер меры от ее номинального размера и допускаемое отклонение от плоскостности и параллельности. Таким образом, класс 00 самый точный, то есть, концевые меры в этом классе имеют самый маленький допуск на изготовление по сравнению с мерами тех же номиналов в других классах. Класс точности присваивается каждой мере при контроле годности ее изготовления и при проверке ее состояния в процессе эксплуатации. Класс точности указывают для рабочих ПКМД.

Международный стандарт ISO 3650:1998 устанавливает четыре класса плоскопараллельных концевых мер длины — К, 0, 1 и 2. Первые два являются образцовыми, классы 1 и 2 — рабочие, предназначенные для измерений, калибровки измерительных инструментов и настройки станков:

- КМД класса точности 2 обычно используют как «Рабочие эталоны» в измерительных лабораториях для установки приборов и инструментов при относительных измерениях и их калибровки, а также для настройки контрольных приспособлений и станков.

- КМД класса точности 1 в основном используют как «Рабочие эталоны» в измерительных лабораториях и контрольных пунктах для калибровки приборов и инструментов и для точных измерений;

- КМД класса точности 0 используют в качестве «Исходного эталона» (образцового средства) в калибровочных и измерительных лабораториях в термоконтактных помещениях для поверки и калибровки КМД, приборов, инструментов и калибров и для выполнения очень точных измерений;

- КМД класса точности К используют в качестве «Исходного эталона» (образцового средства) в калибровочных и измерительных лабораториях государственных метрологических институтов и сертифицированных центров для поверки и калибровки КМД, эталонов длины, приборов, инструментов и калибров. КМД класса точности К являются самым точным эталоном.

С целью повышения точности концевых мер длины (для случая использования их в качестве образцовых) помимо классов точности установлены еще и разряды концевых мер.

Разряды — это ряды величин погрешностей измерения, допускаемые при аттестации ПКМД. Разряд концевых мер длины показывает, с какой погрешностью измерения производится аттестация действительного размера длины концевой меры. Установлены следующие разряды точности ПКМД — 1, 2, 3, 4 (в порядке убывания точности). Разряд указывают для образцовых ПКМД.

Таким образом, плоскопараллельные концевые меры можно использовать по классам и разрядам. При использовании плиток по классам номинальные размеры (размеры, выгравированные на плитках) принимаются за истинные, а

при использовании плиток по разрядам за истинные размеры принимаются размеры, указанные в аттестате. Использование плоскопараллельных концевых мер по разрядам дает более высокую точность измерения, чем использование плоскопараллельных концевых мер по классам, но измерение является более трудоемким.

Измерительные (рабочие) поверхности концевых мер обладают свойством сцепляемости (притираемости). **Притираемость** измерительных поверхностей концевой меры — это способность измерительных поверхностей КМД сцепляться друг с другом при смещении в плотно прижатом состоянии. Такое сцепление (притирание) КМД происходит благодаря высокой плоскостности и малой шероховатости их измерительных поверхностей и позволяет собирать из отдельных мер блоки КМД. Суммарный размер такого блока равен сумме размеров мер, вошедших в него. Блоки из КМД можно получить практически любого требуемого размера.

Составление блока концевых мер

Блок плиток (концевых мер) требуемого размера следует составлять из наименьшего возможного числа плиток (предпочтительно не более пяти) с целью получения наименьшей погрешности. Прежде чем набирать плитки в блок, следует определить, из каких плиток он будет составлен. Для этого необходимо ознакомиться с набором плоскопараллельных концевых мер длины (плиток).

Номинальные значения длины концевых мер должны соответствовать указанным в таблице 2.20.

Таблица 2.20

Номинальные значения длины концевых мер

Градация концевых мер	Номинальные значения длины концевых мер				
—	1,0005				
0,001	Св.	0,99	до	1,01	включительно
	»	1,99	»	2,01	»
	»	9,99	»	10,01	»
0,005	Св.	0,40	до	0,41	включительно
0,05	Св.	0,1	до	0,7	включительно
	»	0,9	»	1,5	»
	»	2	»	3	»
	»	9,9	»	10,1	»
0,1	Св.	0,1	до	3	включительно
0,5	Св.	0,5	до	25	включительно
1	Св.	1	до	25	включительно
10	Св.	10	до	100	включительно
25	Св.	25	до	200	включительно
50	Св.	50	до	300	включительно
100	Св.	100	до	1000	включительно

Наиболее быстро блок требуемого размера можно составить методом исключения наименьшего знака.

Пример.

Требуется составить блок размером 46,875 мм

Первая плитка, входящая в блок — 1,005мм

Остаток — 45,87мм

Вторая плитка, входящая в блок — 1,37мм

Остаток — 44,5 мм

Третья плитка, входящая в блок — 4,5 мм

Остаток — 40 мм

Четвертая плитка, входящая в блок — 40 мм.

Таким образом, блок заданного размера будет составлен из следующих 4-х плиток: $1,005+1,37+4,5+40=46,875$ мм.

Примечание: Вторую плитку рекомендуется подбирать так, чтобы остаток оканчивался на 0 или 0,5.

Пример.

Требуется составить блок размером 46,995 мм. Так как после запятой имеем величину 0,995 (на 5 микрон меньше миллиметра), целесообразно воспользоваться минусовым микронным набором плиток. При этом блок можно составить из следующих плиток:

Первая плитка — 0,995 мм,

Остаток — 46 мм,

Вторая плитка — 6 мм,

Третья плитка — 40 мм.

Таким образом, блок заданного размера можно составить из следующих 3-х плиток: $0,995+6+40 = 46,995$ мм.

Загрязненные поверхности плохо притираются, что приводит к погрешности в размере блока, а также к возможности повреждения плиток. Поэтому измерительные поверхности плиток, из которых составляют блоки, следует тщательно протирать от загрязнения, затем плитки притираются сдвигом или поворотом при плотном прижатии друг к другу, чтобы они получили хорошее сцепление. Тонкие плитки следует прижимать по всей поверхности во избежание их деформации и для обеспечения притирки по всей плоскости.

2.3.2. Подготовка мер к работе

1. Убедиться, что каждая мера освобождена от смазки.
2. Тщательно промыть авиационным бензином по ГОСТ 1012–72.
3. Вытереть насухо чистой сухой салфеткой из хлопчатобумажной ткани.

2.3.3. Измерение действительного размера калибра-скобы

Для измерения проходного размера калибра-скобы в зев скобы вводят блок плиток. При этом измерительные поверхности скобы не должны иметь

загрязнений, забоин, царапин. При вводе следует избегать перекосов и применения большого усилия. В случае, если блок выпадет, не входит или входит очень туго, заменяют одну (как правило, микронную) или две плитки, уменьшая или увеличивая размер блока до тех пор, пока блок будет удерживаться в зеве скобы трением. Размер блока, подобранный таким образом, принимается за действительный размер скобы.

При измерении скоб малых размеров — менее 20 мм — блок должен перемещаться с небольшим трением при плотном прилегании к рабочим поверхностям скобы. Удерживание собственного веса трением для скоб малых размеров является недостаточным критерием припасовки.

Аналогично измеряется непроходной размер калибра-скобы.

Примечание: при измерении не разрешается брать руками измерительные поверхности плиток и класть плитки на стол рабочими поверхностями или навалом.

Плитки, освободившиеся от работы, следует немедленно класть в футляр в соответствующую ячейку (не задерживать неиспользуемые плитки у себя).

2.3.4. Содержание работы

1. Изучить характеристики и параметры плоскопараллельных мер длины.
2. Изучить методику составления блоков концевых мер.
3. Изучить параметры измеряемого калибра-скобы.
4. Составить необходимые для измерения калибра-скобы блоки концевых мер.
5. Провести измерения калибра-скобы и сделать заключение о годности, оформить отчет по работе.

2.3.5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с калибром-скобой и выполнить его эскиз. Параметры калибра-скобы представлены в таблице 2.21.

Таблица 2.21

Параметры измеряемого калибра-скобы

Марки- ровка калибра- скобы	Номи- нальный размер, d_n , мм	Квалитет	Предельные отклонения, мм	Предельные размеры контролируемого вала	
				макси- мальный $d_{\max} = d_n + es$	мини- мальный $d_{\min} = d_n + ei$
120u8	120	8	$es = +198$ $ei = +144$		

2. По ГОСТ 24853–81 или таблице 2.22 определить допуск на изготовление калибра-скобы H_1 и отклонения Z_1 и Y_1 .

Таблица 2.22

Допуски и отклонения калибров (ГОСТ 24853–81)

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм									Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св.50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
		Допуски, мкм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	IT1 IT2 IT1
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	
	Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H; H _S	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
	H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H _P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	
7	Z; Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	IT2 IT1 IT1
	Y ₁ ; Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H; H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H _S	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
	H _P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	
8	Z; Z ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9	IT2 IT3 IT1
	Y; Y ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _S ; H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
9	Z; Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	IT2 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	4	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _S ; H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
10	Z; Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	IT2 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _S ; H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
11	Z; Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32	IT4 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	4	5	6	8	9	11	13	15	18	
	H _S	-	-	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм									Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св.50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
		Допуски, мкм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	Z; Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32	IT4 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	4	5	6	8	9	11	13	15	18	
	H _S	-	-	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	

3. Рассчитать размеры проходного $S - PP$ и непроходного $S - HE$ калибра-скобы и предельный размер изношенного проходного калибра $S - I$ по формулам:

$$S - PP = d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2};$$

$$S - HE = d_{\min} - \frac{H_1}{2};$$

$$S - I = d_{\max} + Y_1,$$

где H_1 — допуск на изготовление калибра-скобы, мм; Z_1 — отклонение середины поля допуска на изготовление проходного $S - PP$ калибра-скобы (относительно наибольшего размера вала); Y_1 — допуск на износ.

4. Найти предельные размеры проходного и непроходного калибра-скобы, с учетом того, что отклонение размера калибра-скобы равно $+H_1$.

5. Определить предельные размеры проходного $S - PP$ калибра-скобы. Минимально допустимый:

$$S - PP_{\min} = S - PP.$$

Максимально допустимый:

$$S - PP_{\max} = S - PP + H_1.$$

6. Определить предельные размеры непроходного $S - HE$ калибра-скобы. Минимально допустимый:

$$S - HE_{\min} = S - HE.$$

Максимально допустимый:

$$S - HE_{\max} = S - HE + H_1.$$

Результаты расчетов занести в таблицу 2.23.

7. Составление блока плиток (концевых мер).

Составить блоки концевых мер, размеры которых соответствуют наибольшему и наименьшему предельным размерам проходной и непроходной сторон калибра-скобы (табл. 2.23).

Таблица 2.23

Предельные размеры калибра-скобы, мм

Наименование	Размеры калибра-скобы, мм		Предельные размеры калибра-скобы, мм	
	Обозначение	Значение	Обозначение	Значение
Проходная сторона	$S - PP$		$S - PP_{\min}$	
			$S - PP_{\max}$	
Проходная изношенная	$S - И$		—	—
Непроходная сторона	$S - HE$		$S - HE_{\min}$	
			$S - HE_{\max}$	

8. Проверка проходной стороны $S - PP$ калибра-скобы.

Набрать блок концевых мер размером, равным наибольшему предельному размеру проходной стороны рабочей скобы $S - PP_{\max}$. Для этого сначала определить размеры отдельных концевых мер длины, необходимых для составления блока размера $S - PP_{\max}$, используя различные наборы мер. Блок должен состоять из возможно меньшего количества мер.

Введите блок концевых мер длины между измерительными поверхностями проходной стороны скобы ПР.

Размер скобы равен размеру блока, если при перемещении блока с небольшим усилием между измерительными поверхностями скобы ощущается плотное соприкосновение поверхностей скобы и блока и отсутствие качки.

Если блок не входит в скобу или ощущается зазор между ними и поверхностями скобы, надо уменьшить или увеличить размер блока путем замены одной плитки другой и произведите проверку повторно.

Действительным размером проходной стороны скобы $S - PP$ будет являться тот блок мер, который удерживается собственной массой, но при уменьшении на размер 0,001 мм выпадает.

Определите степень износа проходной стороны рабочего калибра-скобы $S - PP$ и дайте заключение о степени износа и годности скобы ПР: калибр-скоба годная, если

$$S - PP_{\min} \leq S - PP_{изм} \leq S - PP_{\max}$$

и изношена, если

$$S - PP_{изм} < S - PP_{\min}$$

или

$$S - PP_{изм} \succ S - И .$$

Аналогично проводится проверка непроходной стороны $S - HE$ калибра-скобы.

Размеры плиток, составляющие действительные размеры калибра-скобы занести в таблицу 2.24.

Таблица 2.24

Размеры плиток, составляющие действительные размеры калибра-скобы

Плитки	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
$S - PP$					
$S - HE$					

Результаты измерений занести в таблицу 2.25 и дать заключение о годности калибра-скобы.

Таблица 2.25

Результаты измерения

Результаты измерений калибра-скобы		Заключение о годности
$S - PP$	$S - HE$	

2.3.6. Содержание отчета

1. Основные характеристики плоскопараллельных концевых мер длины.
2. Выполнить эскиз калибра-скобы с указанием маркировки.
3. Указать предельные размеры измеряемого калибра-скобы.
4. Порядок составления блоков концевых мер для проверки предельных размеров.
5. Результаты измерений.
6. Заключение о годности калибра-скобы.

2.3.7. Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация калибров.
2. Виды допусков изготовления калибров.
3. Методика измерения действительных размеров и износа калибров.
4. Классы точности и разряды концевых мер длины.
4. Наборы концевых мер.
5. Порядок составления блоков концевых мер.

2.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ОПТИМЕТРЕ

Цель работы: изучить устройство, конструкцию и принцип работы горизонтального оптиметра, приобрести практические навыки измерения линейных величин.

2.4.1. Общие сведения

Назначение

Оптиметр представляет собой прибор с рычажно-оптической системой для измерения линейных размеров.

Горизонтальный оптиметр предназначается для контактных измерений наружных и внутренних линейных размеров методом сравнения измеряемой детали с концевыми мерами 4 и 5-го разрядов (1 и 2-го классов), калибрами или образцовыми деталями. В частности, на приборе можно производить измерения концевых плоскопараллельных мер длины (измерительных плиток), калибров, диаметров шариков, внутренних диаметров изделий и т.д.

Оптиметр должен работать в помещении при отсутствии тряски и вибраций. При измерениях необходимо соблюдать температурный режим. Отклонения температуры от нормальной (20°C) не должны превышать $\pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность — не более 80%.

Метрологическая характеристика прибора

Диапазон измерений:

наружных размеров, мм	0 ... 350
внутренних размеров, мм	13,5 ... 150
Цена наименьшего деления шкалы	0,001 мм
Пределы измерения по шкале	$\pm 0,1$ мм;
Наибольшая масса измеряемого изделия	10 кг
Погрешность показаний измерительного устройства на участке шкалы:	
от 0 до $\pm 0,06$ мм	$\pm 0,0002$ мм
свыше $\pm 0,06$ мм	$\pm 0,0003$ мм
Габаритные размеры прибора	1150x460x520 мм
Масса	60 кг

Конструкция прибора

Конструкция горизонтального оптиметра представлена на рисунке 2.8.

Горизонтальный оптиметр включает в себя следующие основные узлы: штатив, предметный столик, пиноль, трубку оптиметра.

Штатив. Штатив представляет собой направляющую цилиндрической формы 10 со шпоночным пазом (рис. 2.8), укрепленную на массивном основании 12. На направляющей справа и слева расположены два передвижных кронштейна 1, которые в требуемом положении закрепляются зажимными винтами 18.

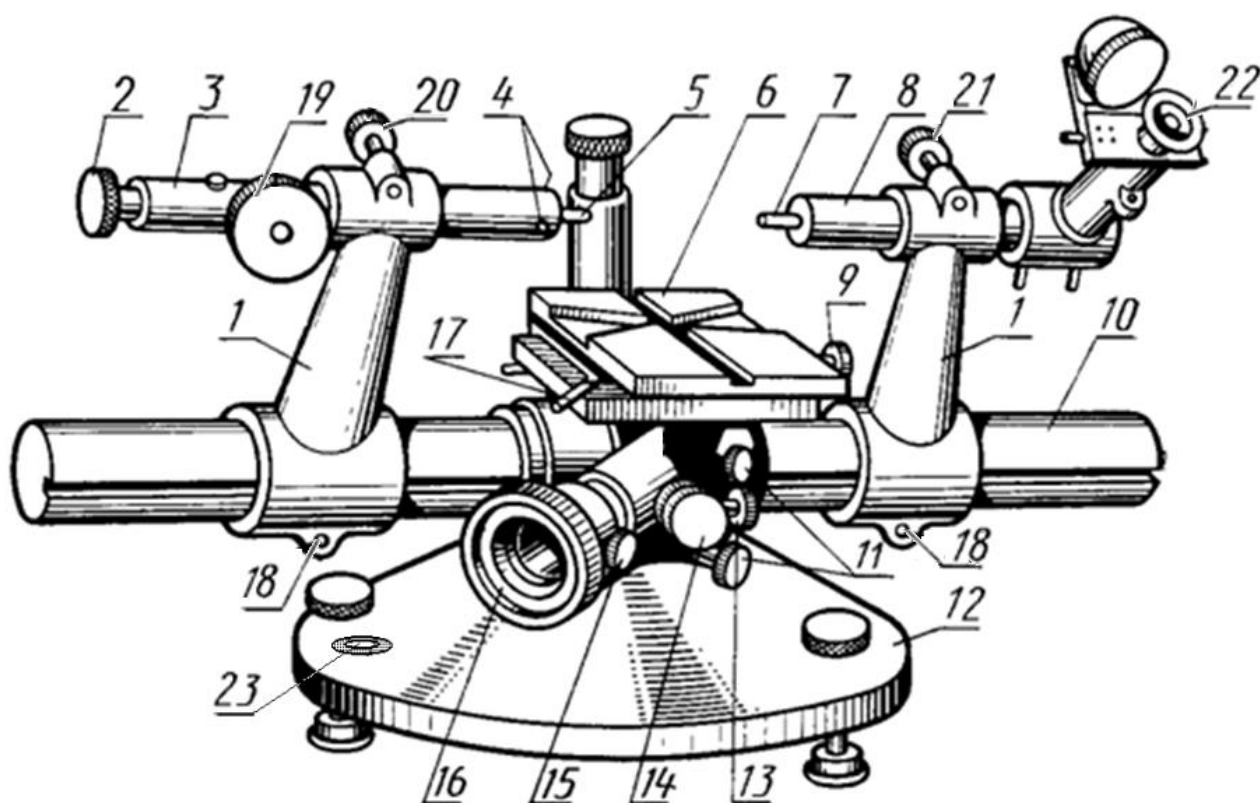


Рис. 2.8.

Внешний вид горизонтального оптиметра

1 — передвижные кронштейны; 2 — микрометрический винт; 3 — пиноль; 4 — установочные винты; 5, 7 — измерительные наконечники; 6 — предметный столик; 8 — трубка оптиметра; 9 — кремальера; 10 — направляющая; 11 — винты; 12 — основание; 13 — стопорная головка эксцентрика; 14 — головка эксцентрика; 15 — стопорный винт; 16 — маховичок; 17 — рукоятка; 18 — стопорные винты; 19 — зажимной винт; 20 и 21 — винты; 22 — окуляр; 23 — уровень

Для установки прибора по горизонтали служат регулируемые ножки и уровень 23 на основании 12, для крепления трубки оптиметра и пиноли — винты 20 и 21 соответственно.

Для предотвращения поворота кронштейнов 1 на валу используются шпонки, скользящие по осевому пазу направляющей 10. В правом кронштейне закрепляется трубка оптиметра 8, в левом — пиноль 3.

Предметный столик. Между кронштейнами 1 на колонке укреплен предметный столик 6 с механизмами для его перемещения. Позади столика расположена стойка с передвижным упором, имеющим гайку для крепления.

Столик имеет следующие движения:

- вертикальное перемещение — подъём и опускание производится посредством зубчато-реечного зацепления вращением маховичка 16, столик закрепляется в любом положении винтом 15. Это движение служит для установки измеряемого изделия на линию измерения в вертикальной плоскости;

- вращение вокруг вертикальной оси — движение производится рукояткой 17;

- поворот вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной к линии измерения — движение производится с помощью головки эксцентрика 14 со стопором 13.

Последние два движения служат для совмещения линии измерения изделия с осью оптиметра.

Для облегчения вертикального перемещения и предохранения от резких толчков столик снизу поддерживается пружиной, установленной внутри колонки. Винты 11 служат для закрепления ограничителей вертикального движения столика.

Верхняя часть столика представляет собой площадку прямоугольной формы с продольным пазом и выемкой, обеспечивающей максимальный подъём столика к линии измерения; площадка опирается на четыре шарика, которые расположены в пазах шариковой направляющей, вследствие чего вся верхняя часть столика может перемещаться параллельно линии измерения. Благодаря такому устройству изделие, закрепленное на столике, постоянно находится в контакте с обоими измерительными наконечниками.

Пиноль. Пиноль 3 представляет собой стальную трубку, внутри которой вдоль оси плавно перемещается стержень с пружиной; что обеспечивает точность установки отсчёта по шкале трубки оптиметра.

Пиноль 3 закрепляется в требуемом положении зажимным винтом 20, на конце пиноли расположен измерительный шток с наконечником 5. Измерительный шток пиноли соединён со стержнем и удерживается в требуемом положении с помощью двух установочных винтов 4. Перемещение наконечника пиноли вдоль оси производится с помощью микрометрического винта 2.

Трубка оптиметра. В коленчатой металлической трубке оптиметра 8 установлены измерительная головка с поворотным зеркалом и детали оптической системы. Наружу выступает только часть измерительного штока, на котором крепится наконечник 7.

Принцип действия и оптическая схема трубки оптиметра. В основу оптической схемы прибора положен оптико-механический принцип измерения.

Зеркало 1, которое служит для получения изображения шкалы, связано с измерительным штоком 8 и при его перемещении отклоняется на соответствующий угол.

Наблюдаемое в поле зрения изображение шкалы, расположенное в фокальной плоскости объектива 2, перемещается относительно неподвижного индекса пропорционально перемещению измерительного штока.

В горизонтальном оптиметре линия измерения (оси трубки оптиметра и пиноли) расположена горизонтально. Контактными измерительными поверхностями служат поверхности наконечников 7 и 5 (рис. 2.8) трубки оптиметра и пиноли. Измеряемое изделие крепится на столе, механизмы которого позволяют точно установить линию измерения в требуемых сечениях изделия относительно оси трубки оптиметра.

Отсчёты при измерениях производятся наблюдением в окуляр 5 трубки оптиметра.

Оптическая схема трубки оптиметра показана на рисунке 2.9.

Осветительную систему составляют зеркало 6 в оправе и призма 7, установленная на рамке окуляра.

На стеклянную плоскопараллельную пластину 4 нанесены шкала и индекс. Деления шкалы расположены на одной половине пластины, а индекс — на другой. Шкала со стороны окуляра 5 закрыта призмой 7 так, что через окуляр можно видеть только индекс и изображение шкалы, отражённое от зеркала 1. Сетка установлена в фокальной плоскости объектива.

Лучи света, отражаясь от зеркала 6, проходят через призму 7, освещают шкалу, и, проходя через призму 3 и объектив 2, падают на зеркало 1. Затем отражаются от него и снова попадают в объектив 2, проходят призму 3, стеклянную пластину 4, окуляр 5 и попадают в глаз наблюдателя. В окуляре наблюдатель видит одновременно отраженное от зеркала 1 изображение шкалы и индекс, нанесённый на стекле.

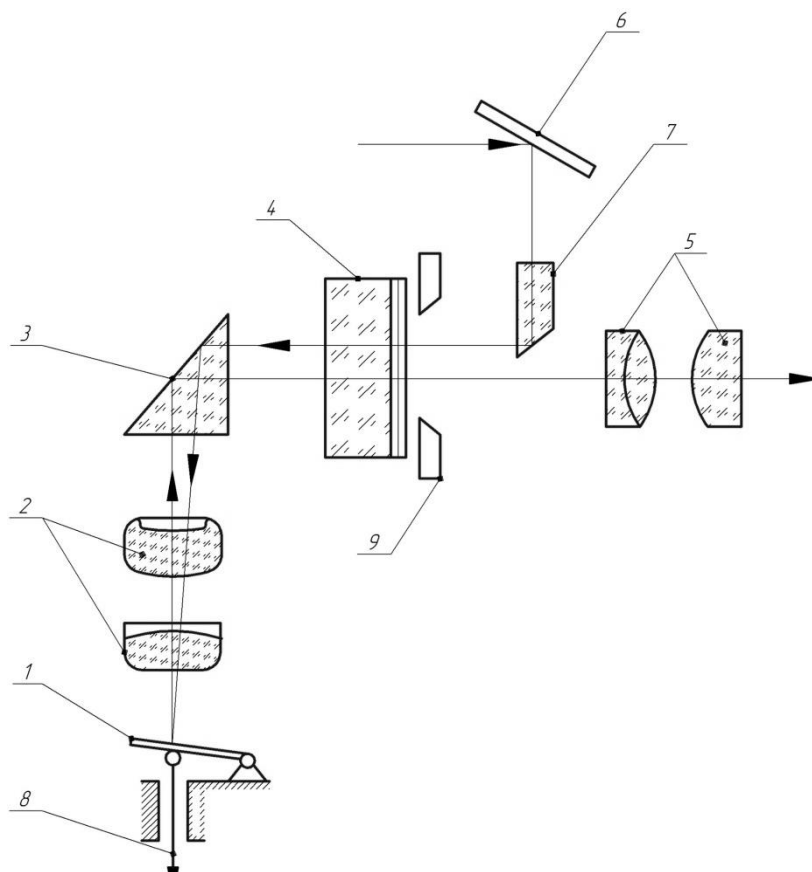


Рис. 2.9.

Оптическая схема трубки оптиметра

1 — зеркало; 2 — объектив; 3 — призма полного внутреннего отражения; 4 — стеклянная плоскопараллельная пластина; 5 — окуляр; 6 — зеркало; 7 — призма; 8 — измерительный наконечник; 9 — шторки

При осевом перемещении измерительного штока 7 трубки оптиметра 8 (рис. 2.8) зеркало 1 (рис. 2.9) отклоняется на некоторый угол α , вследствие

чего изображение шкалы в поле зрения окуляра перемещается относительно неподвижного индекса.

Между величиной перемещения измерительного штока и величиной перемещения изображения существует следующая зависимость: перемещение штока на величину h (рис. 2.10) вызывает наклон зеркала на угол α , величина которого определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b},$$

где b — длина плеча, равная расстоянию от оси O вращения зеркала до точки касания штока A .

Луч MN при отражении от зеркала отклоняется на угол 2α и точка M вследствие этого перемещается в точку M_1 . Из треугольника MNM_1 имеем:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{H}{MN},$$

где H — величина перемещения луча при наклоне зеркала на угол; MN — фокусное расстояние объектива.

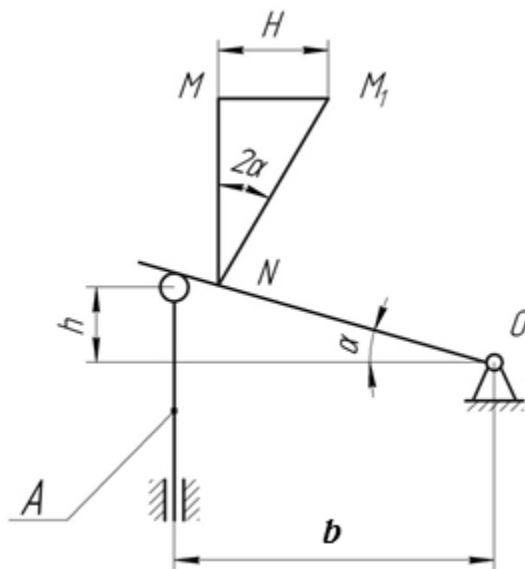


Рис. 2.10.

Оптико-механическая схема преобразования перемещения измерительного штока

Так как в обоих случаях речь идёт о малых углах, то значение $\operatorname{tg} \alpha$ и $\operatorname{tg} 2\alpha$ можно заменить величинами α и 2α . После некоторых преобразований получим искомую величину передаточного отношения:

$$\frac{H}{h} = 2 \frac{MN}{b}.$$

Отсчет показаний с помощью оптиметра. На рис. 2.11 показана шкала, видимая в поле зрения трубки оптиметра. Шкала имеет 200 делений, расположенных симметрично по обе стороны от нуля (по 100 делений с каждой

стороны).

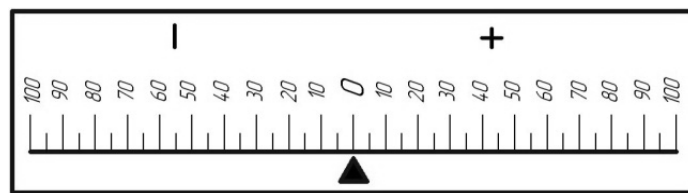


Рис. 2.11.

Шкала, видимая в поле зрения трубки оптиметра

Механические и оптические соотношения всей системы оптиметра подобраны таким образом, что видимое в окуляр смещение шкалы на одно деление соответствует осевому перемещению измерительного штока на 0,001 мм.

Трубки оптиметров изготавливаются двух типов: с цветными шторками в поле зрения окуляра и без них. Шторки 9 (рис. 2.9) показывают предельные границы годных деталей. При пользовании шторками не производится отсчет по шкале, достаточно установить, где находится индекс — внутри или вне ограниченного шторками поля.

2.4.2. Подготовка прибора к работе

Выбор измерительных наконечников. При проведении измерений на измерительные штоки пиноли и трубки оптиметра надевают соответствующие измерительные наконечники. Применяются наконечники: сферические, плоские и ножевидные.

Перед измерением наружных размеров необходимо выбрать наконечник соответствующей формы.

Контакт между измеряемым изделием и наконечником должен быть по наименьшей поверхности, поэтому при измерении изделий с плоскими поверхностями следует пользоваться сферическими наконечниками, а при измерении цилиндров — плоскими или ножевидными.

Измерение наружных размеров. После установки наконечников приступают к настройке шкалы трубки оптиметра в нулевое положение по концевым мерам. Концевую меру или блок концевых мер (в зависимости от измеряемого номинального размера) помещают непосредственно на столик прибора или на прилагаемую к нему призму и закрепляют струбциной; при этом надо следить, чтобы верхняя (плавающая) часть стола занимала среднее положение.

Кронштейны с трубкой оптиметра и пинолью перемещают вдоль штатива на такое расстояние, при котором концевая мера свободно поместилась бы между наконечниками. Оставив кронштейны незакреплёнными, при помощи механизма управления столика вводят концевую меру на линию измерения.

Освободив винт 15 (рис. 2.8), поворотом маховичка 16 поднимают столик 6 на требуемый уровень и закрепляют его; затем с помощью кремальеры 9 перемещают верхнюю часть столика, так, чтобы середина столика находилась

на оси наконечников. Перемещают кронштейн 1 с пинолью 3 до соприкосновения наконечника 5 с измерительной поверхностью плитки и также закрепляют зажимным винтом 18.

С помощью микрометрического винта 2 устанавливают изображение шкалы приблизительно на деление «0» и закрепляют винт 19, который во время подачи микрометрического винта должен быть отпущен. Концевую меру устанавливают так, чтобы линия измерения её совпадала с линией измерения прибора. Чтобы найти такое положение концевую меру вместе со столиком при помощи головки эксцентрика 14 поворачивают до тех пор, пока в окуляре не будет наблюдаться наименьший отсчёт по шкале трубки оптиметра и в этом положении эксцентрик закрепляют винтом 13. Затем рукояткой 17 поворачивают столик и также находят наименьший отсчёт по шкале трубки оптиметра.

Положение концевой меры считается правильным, если при повторных поворотах столика в обоих случаях получается один и тот же отсчёт в пределах $\pm 0,2$ мкм. При таком положении концевой меры, вращая микрометрической винт 2 пиноли, устанавливают изображение шкалы на деление «0» и стержень пиноли закрепляют винтом 19. Небольшое смещение изображения шкалы (вследствие большой чувствительности прибора) устраняют вращением микрометрического винта 2. В правильности установки на «0» следует убедиться 3–5-кратным арретированием. Установку шкалы корректируют до тех пор, пока она не будет постоянной в пределах $\pm 0,2$ мкм.

После записи отсчёта концевую меру снимают и на столик устанавливают измеряемое изделие. Если изделие имеет форму плитки, то для нахождения наименьшего отсчёта по шкале производят те же действия, что и с концевой мерой. Полученный отсчёт будет представлять собой разность размеров измеряемого изделия и концевой меры.

Следует помнить, что при введении изделия на линию измерения между наконечниками надо отвести наконечник трубки оптиметра.

При измерении цилиндров, например, калибров — пробок, могут быть два положения: ось калибра параллельна плоскости столика (горизонтальна) и ось калибра перпендикулярна к плоскости столика (вертикальна).

В первом случае, после того как калибр, закреплённый на столике, введён между наконечниками, перемещают столик в вертикальном направлении до получения наибольшего отсчёта и закрепляют его в этом положении; затем вращают столик рукояткой 17 до получения наименьшего отсчёта. Эти действия повторяют до тех пор, пока наибольший отсчёт при вращении столика не будут совпадать в пределах $0,2$ мкм. Полученный отсчёт покажет разность размеров измеряемого калибра и образцовой меры.

Во втором случае, когда калибр установлен в вертикальном положении, наибольший отсчёт получают перемещением столика в направлении к наблюдателю и обратно при помощи кремальеры 9, а наименьший — наклоном столика вокруг горизонтальной оси с помощью головки эксцентрика 16.

2.4.3. Методика измерений

Оптиметр является прибором, реализующим метод сравнения с мерой. Процесс измерения на нем деталей включает следующие операции.

Номинальный размер и допуск не известны

1. Измерение детали универсальным средством измерения для определения ее номинального размера.
2. Составление блока концевых мер размером « x » по результатам определения номинального размера.
3. Настройка трубки оптиметра на ноль по блоку концевых мер.
4. Измерение деталей и определение показаний « Δx » по трубке оптиметра.
5. Нахождение действительных размеров контролируемых деталей

$$R = x \pm \Delta x,$$

где x — номинальный размер измеряемой детали, мм; Δx — показания трубки оптиметра, мм.

Номинальный размер и допуск известны

1. Составление блока концевых мер размером « x », соответствующим середине интервала допуска.
2. Выполнение пунктов 3, 4, 5 раздела «2.4.3».

2.4.4. Содержание работы

1. Изучить конструкцию и назначение основных узлов горизонтального оптиметра.
2. Изучить метрологические и технические характеристики горизонтального оптиметра.
3. Изучить принцип действия и оптическую схему трубки оптиметра.
4. Изучить методики проведения измерений геометрических параметров деталей.
5. Провести настройку горизонтального оптиметра и измерение наружных размеров заданных деталей.
6. Оформить отчет по работе.

2.4.5. Порядок выполнения работы

1. Записать в отчет исходные данные (номинальные размеры) измеряемой детали.
2. Настроить оптиметр на ноль по концевой мере или блоку концевых мер, размер которого соответствует номинальному размеру измеряемой детали.
3. Проверить правильность установки предметного стола и настройки прибора (стабильности нулевого отсчета).
4. Провести измерение заданных размеров деталей в трех сечениях в двух направлениях.
5. Результаты измерений занести в таблицу 2.26.

Таблица 2.26

Результаты измерений

Наименование детали	Номинальный размер, мм	Номер сечения	Показание оптиметра, мкм		Среднее показание прибора в сечении, мкм	Действительный размер, мм
			Направление			
			1	2		
Подшипник		I				
		II				
		III				
Калибр- пробка		I				
		II				
		III				

2.4.6. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Метрологические и технические характеристики горизонтального оптиметра.
3. Описание лабораторной установки.
4. Оптическая схема трубки оптиметра.
5. Поле зрения трубки оптиметра, порядок снятия отсчета.
6. Результаты измерений.
7. Вывод.

2.4.7. Контрольные вопросы

1. По какому методу производится измерение на горизонтальном оптиметре?
2. Опишите конструктивные особенности и оптическую схему трубки оптиметра.
3. Опишите настройку и измерение на горизонтальном оптиметре.
4. Назовите метрологические характеристики.

2.5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5**ИЗУЧЕНИЕ ГОНИОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ**

Цель работы: Изучение гониометрических методов измерения углов в машино- приборостроении. Ознакомление с конструкцией и овладение практическими навыками работы с гониометром-спектрометром модели ГС-5.

2.5.1. Общие сведения**Назначение**

Гониометры предназначены для:

- измерения углов между плоскими полированными гранями твердых

прозрачных и непрозрачных предметов;

- измерения пирамидальности призм и проведение других исследовательских работ.

Измерение углов на гониометрах осуществляется методом сравнения с угломерной шкалой, т. е. путем сравнения с угломерной шкалой, выполненной в виде круговой шкалы, представляющей собой точно отградуированный лимб, следовательно, результат измерений получают непосредственно в угловых величинах.

Так как у гониометра угломерной шкалой является круговая шкала (лимб), то основным фактором, вызывающим погрешность отсчета, является эксцентриситет шкалы — расстояние между осью вращения и центром круговой шкалы (рис. 2.12).

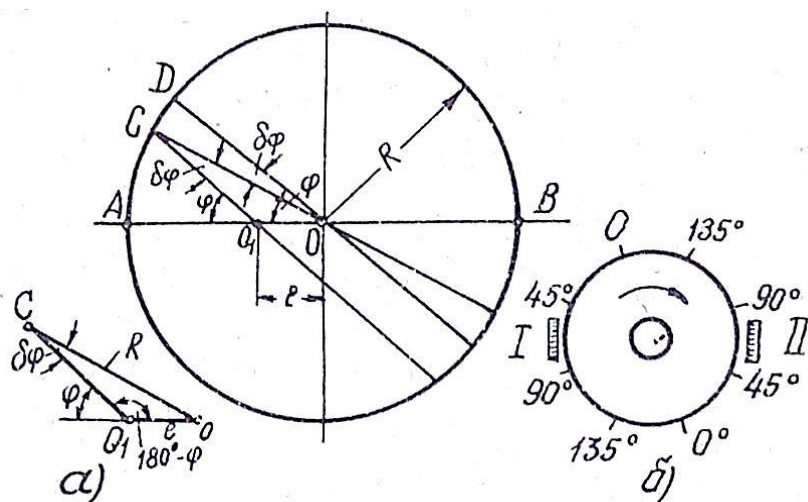


Рис. 2.12.

Схема образования погрешности отсчета

Определим математическую зависимость погрешности отсчета угла поворота лимба от величины эксцентриситета.

Рассмотрим случай, когда центр O лимба и ось его вращения O_1 лежит на диаметре AB окружности, на которой нанесена шкала (рис. 2.12).

При повороте лимба на угол $AO_1C = \varphi$, линия AO_1 станет в положение CO_1 и отсчет производят в точке C . Если эксцентриситет $e = O$, то при повороте лимба на угол φ линия AO займет положение DO и отсчет производят в точке D .

Следовательно, при наличии эксцентриситета e погрешность выразится величиной угла $COD = \delta\varphi$.

По теореме синусов
$$\frac{OO_1}{OC} = \frac{\sin OCO_1}{\sin CO_1O}.$$

Тогда, учитывая малость угла $\delta\varphi$, можно написать:

$$\delta\varphi = \frac{e}{R} \sin \varphi,$$

где R — радиус шкалы.

Таким образом, погрешность показаний $\delta\varphi$, обусловленная наличием эксцентриситета, уменьшается с увеличением радиуса шкалы R и уменьшением эксцентриситета e .

Практически полностью устранить эксцентриситет невозможно, а чрезмерно увеличивать радиус лимба нельзя, так как это увеличивает габариты прибора.

Однако, следует учитывать, что через 180° синус меняет знак.

Это означает, что если после поворота лимба на угол φ сделать на нем два отсчета на участках, отстоящих один от другого на 180° , то в оба отсчета войдет ошибка $\delta\varphi$, но с разными знаками. Если затем определить среднее арифметическое из этих отсчетов, то результат измерений, из которого ошибка, вызванная наличием эксцентриситета, автоматически исключается.

Метрологическая характеристика прибора

Прибор работает в сухом и чистом помещении при температуре от $+15^\circ\text{C}$ до $+30^\circ\text{C}$. Допустимое колебание температуры при измерениях $\pm 2^\circ\text{C}$.

Увеличение труб с окуляром-кубом $f'=9,8$	40,9 ^x
Поле зрения труб	не менее $0^\circ 50'$
Фокусное расстояние объективов зрительной трубы и коллиматора	400,6 мм
Диаметр объектива труб	50 мм
Разрешающая сила труб (в центре поля зрения) при установке на бесконечность	3"
Увеличение микроскопа	55,6 ^x
Цена деления лимба	20'
Погрешность измерения углов	5"
Цена деления шкалы оптического микрометра	1"
Цена деления круглого уровня	7-15'
Цена деления шкалы окуляра Аббе $f'=15,3$	1'

Конструкция прибора

Гониометр-спектрометр ГС-5 (рис. 2.13) состоит из массивного основания 2 с тремя подъемными винтами 1, вертикальной колонки 17 с коллиматором 13 и осевого устройства с алидадой 4, на которой расположена колонка 5 с автоколлимационной зрительной трубой 10.

Автоколлимационную зрительную трубу 10, вместе с алидадой 4, можно вращать вокруг вертикальной оси прибора вручную или микрометрическим винтом 21 (после закрепления алидады зажимным винтом 20). Рядом с окуляром 7 зрительной трубы 10 расположен окуляр 6 микроскопа отсчетного устройства.

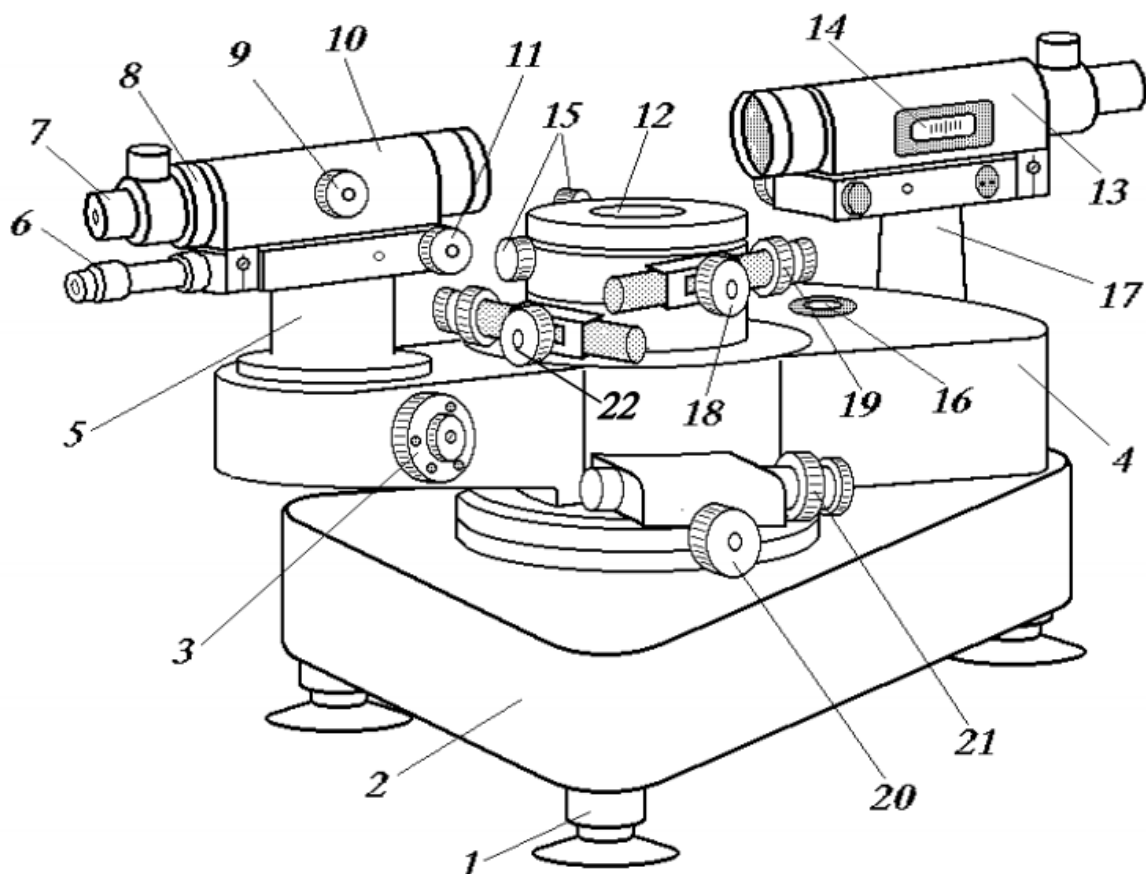


Рис. 2.13.

Внешний вид гониометра ГС-5

1 — подъемный винт; 2 — основание; 3 — маховичок оптического микрометра; 4 — алидада; 5 — колонка (стойка) коллиматора; 6 — окуляр микроскопа отсчетного устройства; 7 — окуляр зрительной трубы; 8 — зажимное кольцо; 9 — маховичок фокусировки коллиматора; 10 — автоколлимационная зрительная труба; 11 — юстировочный винт; 12 — предметный столик; 13 — коллиматор; 14 — фокусирующая отсчетная шкала; 15 — регулировочные винты; 16 — круглый уровень; 17 — вертикальная колонка; 18, 22 — зажимные винты; 20 — зажимной винт; 19, 21 — микрометрические винты

С помощью подъемных винтов 1 и круглого уровня 16, встроенного в корпус алидады 4, ось вращения прибора приводится в вертикальное положение. Зрительная труба 10 и коллиматор 13 имеют внутреннюю фокусировку, осуществляемую с помощью маховичка 9 и одинаковые объективы с фокусным расстоянием 400,6 мм. Для фиксации положения установок объективов на бесконечность и величины расфокусировок, появляющихся из-за кривизны поверхностей контролируемых деталей, трубы снабжены фокусирующими отсчетными шкалами 14. Визирные оси зрительной трубы 10 и коллиматора 13 с помощью юстировочных винтов 11 могут быть установлены перпендикулярно относительно вертикальной оси вращения. Заменяя окулярные устройства, коллиматор можно превратить в зрительную трубу, а зрительную трубу — в коллиматор. Смена и закрепление окулярных устройств производится зажимными кольцами 8.

На верхней части вертикальной оси установлен предметный столик 12, свободно вращающийся вручную, а после закрепления зажимным винтом 18 он

может вращаться вместе с лимбом при неподвижной зрительной трубе. На вертикальную ось прибора посажен стеклянный лимб с ценой деления $20'$ и оцифровкой через градус от 0 до 359° . Зажимной винт 22 закрепляет лимб на оси. При включении или выключении специального механизма, помещенного на корпусе алидады, лимб может вращаться вместе с алидадой, самостоятельно при неподвижной алидаде и вместе со столиком.

Самостоятельное вращение лимба относительно алидады и столика осуществляется маховичком (на рис. 2.13 условно не показан), а вместе со столиком — ручную и микрометрическим винтом 19.

Столик может вращаться с лимбом при неподвижной зрительной трубе, совместно с лимбом и зрительной трубой и самостоятельно после отключения зажимного винта. С помощью двух регулировочных винтов 15 столик может быть наклонен и приведен в горизонтальное положение.

Для контроля различных по высоте призм предусмотрено несколько сменных дисков, накладываемых и укрепляемых на столике.

Прибор включается непосредственно в сеть переменного тока через розетку и общий выключатель, расположенные в нижней части основания 2.

Для понижения напряжения в приборе предусмотрен трансформатор, который переключается на напряжения 127 В и 220 В переключателем, расположенным около розетки. Держатель с предохранителем также размещен в нижней части основания 2.

Конструктивные особенности прибора

Прибор ГС-5 обладает рядом конструктивных особенностей:

- наличие в приборе стеклянного лимба, а также передача изображения двух его диаметрально противоположных участков в один микроскоп, окуляр которого расположен рядом с окуляром зрительной трубы, создают удобство в работе с прибором и позволяют получить высокую точность измерения;

- применение способа совмещения изображений противоположных штрихов лимба в сочетании с оптическим микрометром резко снижает ошибку отсчета по лимбу и исключает ошибку эксцентриситета лимба;

- одинаковые посадочные места для сменных окуляров в трубах гониометра позволяют превращать автоколлимационную трубу в коллиматор и наоборот;

- сокращение габаритных размеров автоколлимационной трубы и коллиматора за счет применения в них телеобъективов позволяет уменьшить габаритные размеры всего прибора.

Оптическая система гониометра

Оптическая система гониометра состоит из зрительной трубы, коллиматора и отсчетного устройства (рис. 2.14).

Зрительная труба и коллиматор представляют собой типовые телескопические системы с внутренней фокусировкой. Объектив зрительной трубы одинаков с объективом коллиматора. В фокусе объектива коллиматора расположена подсвеченная лампой сетка, а в фокусе объектива зрительной трубы — один из сменных окуляров (автоколлимационный в случае

автоколлимационной зрительной трубы).

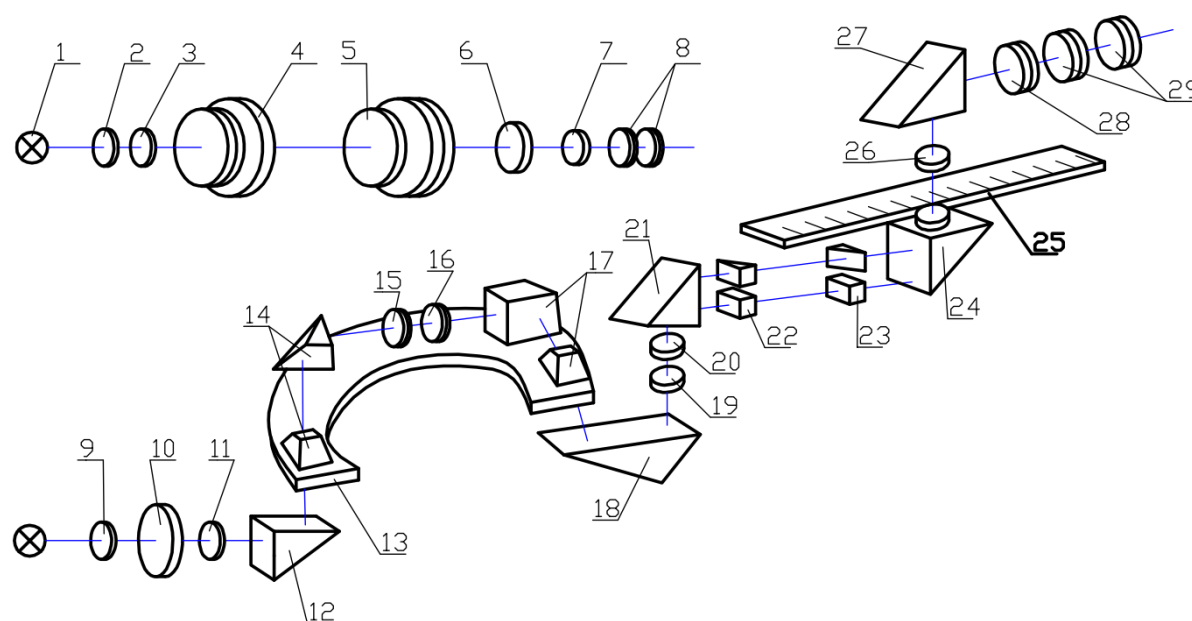


Рис. 2.14.

Оптическая схема гониометра

1 — лампа; 2 — сетка коллиматора; 3, 4 — объектив коллиматора; 5, 6 — объектив зрительной трубы; 7 — сетка зрительной трубы; 8 — окуляр зрительной трубы; 9 — матовое стекло; 10 — линза; 11 — светофильтр; 12, 14, 17, 18, 21, 27 — призмы отсчетного устройства; 13 — лимб; 15, 16, 19, 20, 26, 28 — объективы отсчетного устройства; 22 — неподвижные клинья; 23 — подвижные клинья; 24 — разделительный блок; 25 — шкала; 29 — окуляр отсчетного устройства

Коллиматор состоит из сетки 2 и объектива 3, 4.

Зрительная труба состоит из объектива 5, 6, сетки 7 и окуляра 8. Подсвеченная лампой 1 сетка 2 коллиматора расположена в фокусе объектива 3, 4. Коллиматор дает параллельный пучок лучей, который, отразившись от грани исследуемой детали, попадает в объектив 5, 6 зрительной трубы, проходит через сетку 7 и затем попадает в окуляр 8.

Рядом с окуляром 8 зрительной трубы расположен окуляр 29 отсчетного устройства.

Отсчетное устройство состоит из матового стекла 9, линзы 10, светофильтра 11, призм 12, 14, 17, 18, 21, 27; стеклянного лимба 13, объективов 15, 16, 19, 20, 26, 28, пары неподвижных клиньев 22, пары подвижных клиньев 23, разделительного блока 24, шкалы 25 и окуляра 29.

Данная схема обеспечивает необходимую точность, так как для уменьшения ошибки, вызванной перемещениями оси вращения из-за люфтов в подшипниках, приводящих к эксцентриситету лимба, применяется отсчет показаний с двух диаметрально противоположных участков лимба.

На поверхности лимба нанесена круговая шкала с делениями. Шкала оцифрована от 0 до 360°. Цена одного деления равна 1°. Каждое деление, в свою очередь, разделено на 3 части. Таким образом, цена одного деления лимба

равна 20'.

Ход лучей в отсчетном устройстве следующий.

От лампы через матовое стекло 9, линзу 10, светофильтр 11 и прямоугольную призму 12 освещается лимб 13.

Изображение штрихов и оцифровки лимба через блоки призм 14, 17 и объективы 15, 16 передается на диаметрально противоположный участок лимба.

Далее изображения штрихов двух диаметрально противоположных участков лимба через систему призм 18, 21 и объективы 19, 20 передаются в оптический микрометр и микроскоп, причем одно изображение прямое, другое — обратное.

Принцип действия оптического микрометра заключается в следующем.

По ходу лучей от лимба к микроскопу помещены две пары оптических клиньев 22 (неподвижные) и 23 (подвижные).

Верхние и нижние клинья каждой пары имеют одинаковые, но направленные в противоположные стороны углы и представляют в сумме плоскопараллельные пластинки.

Верхние клинья расположены на пути пучка лучей, дающих прямое изображение штрихов лимба, нижние — на пути пучка лучей, дающих обратное изображение штрихов диаметрально противоположного участка лимба.

При перемещении подвижных клиньев вдоль оптической оси оба изображения участков лимба смещаются поперек оптической оси и в противоположных направлениях, т. е. при движении подвижных клиньев по ходу лучей последние будут смещаться навстречу друг другу.

Таким образом, перемещая клинья в прямом и обратном направлениях, можно совместить или развести изображения штрихов диаметрально противоположных участков лимба.

Пройдя через клинья, изображения штрихов лимба попадают на разделительный блок 24.

С подвижными клиньями механически жестко связана стеклянная шкала 25 оптического микрометра. Она имеет 600 делений и взаимному перемещению изображений лимба на 10' до последующего совмещения штрихов соответствует полное перемещение шкалы. Таким образом, цена деления шкалы микрометра равна 1".

Изображение делений лимба и шкала микрометра расположены в одной плоскости и рассматриваются через окуляр 29 (рис. 2.14) отсчетного микроскопа 6 (рис. 2.13).

Перемещение клиньев и связанной с ними шкалы осуществляется вращением маховичка 3 (рис. 2.13).

Отсчеты углов с помощью измерительного микроскопа

При проведении угловых измерений на гониометре отсчеты по лимбу производят с помощью отсчетного микроскопа 6, расположенного под окуляром 7 зрительной трубы (рис. 2.13).

Поле зрения отсчетного микроскопа представлено на рис. 2.15.

В левом (большем) окне наблюдаются изображения штрихов от двух диаметрально противоположных участков лимба в виде прямого изображения верхнего ряда штрихов и обратного, перевернутого изображения нижнего ряда и вертикальный индекс.

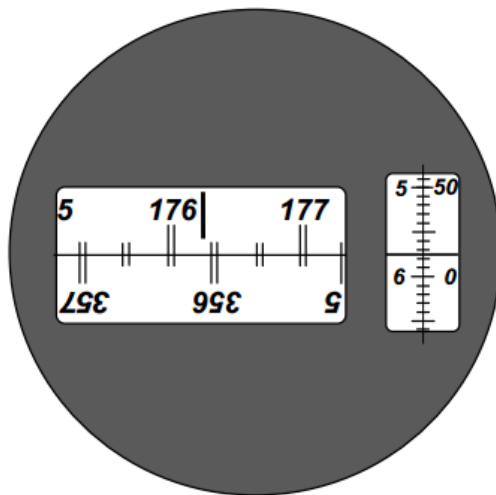


Рис. 2.15.

Поле зрения отсчетного микроскопа

Чтобы снять отсчет по лимбу, необходимо повернуть маховичок 3 (рис. 2.13) оптического микрометра настолько, чтобы верхние и нижние изображения штрихов лимба в левом окне точно совместились.

Изображение делений шкалы отсчетного микроскопа — минуты и секунды и горизонтальный индекс — расположены в правом окне поля зрения.

Порядок действий для снятия отсчета значения угла:

1. После поворота столика, лимба или алидады в необходимое положение закрепить их с помощью зажимных винтов (18, 22 и 20 на рис. 2.13).

2. Вращением маховичка 3 (рис. 2.13) оптического микрометра добиться точного совмещения верхних и нижних штрихов лимба, видимых в левом окне поля зрения отсчетного микроскопа.

3. За целое число градусов берется значение ближайшего оцифрованного штриха по верхнему ряду штрихов лимба влево от вертикального индекса.

4. Число десятков минут равно числу интервалов между верхним оцифрованным штрихом, по которому взято число градусов, и нижним оцифрованным штрихом, отличающимся от верхнего на 180° .

5. Единицы минут отсчитывают по шкале в правом окне по левому ряду чисел.

6. Секунды и их доли отсчитывают по шкале по правому ряду чисел, располагающихся над горизонтальным неподвижным индексом.

7. Полученные значения градусов, десятков минут, единиц минут и секунд складываются.

Например, отсчет, который соответствует расположению штрихов, изображенному на рис. 2.15, определится так:

- число градусов — 176° (первый оцифрованный штрих слева от индекса);
- число десятков минут — 1 (1 интервал между оцифрованным штрихом 176° и нижним отличающимся от него на 180° оцифрованным штрихом 356°);
- число единиц минут — 5' (левая колонка цифр шкалы оптического микрометра);
- число секунд — 57" (правая колонка цифр шкалы оптического микрометра).

Суммарный отсчет составляет $176^{\circ}15'57''$.

2.5.2. Подготовка гониометра к работе

Перед работой на гониометре необходимо его отъюстировать, т. е. проверить установку труб на бесконечность, перпендикулярность визирной оси зрительной трубы оси вращения алидады и совпадение или параллельность визирных осей коллиматора и зрительной трубы.

Первое условие можно выполнить, устанавливая трубы маховичком 9 (рис. 2.13) по фокусирующим шкалам 14 на отметку ∞ . В случае ошибочного положения отметки трубу устанавливают на бесконечность методом автоколлимации с помощью контрольной плоскопараллельной пластинки или по удаленному предмету. Установка коллиматора на бесконечность может быть произведена также, как и зрительной трубы (по отметке ∞) или по сфокусированной зрительной трубе.

Выполнение второго условия проверяется совмещением автоколлимационного изображения перекрестия, отраженного от поверхности контрольной плоскопараллельной пластинки, с перекрестием зрительной трубы. Для этого плоскопараллельную пластинку устанавливают на столике 12 (рис. 2.13) и с помощью регулировочных винтов 15 приводят в нормальное положение к визирной оси зрительной трубы.

Отпустив зажимной винт 18 и повернув столик с пластинкой на 180° , проверяют совпадение по вертикали перекрестия сетки трубы с его автоколлимационным изображением от другой поверхности пластинки. Несовпадение перекрестий исправляют так: половину интервала выбирают наклоном столика (винтом 15), а другую половину — наклоном трубы (юстировочным винтом 11). Эту операцию повторяют до точного совмещения перекрестий от обеих поверхностей пластинки. Затем пластинку, расположенную на столике, поворачивают на 90° по отношению к первоначальному положению и снова наблюдают за совмещением перекрестий, исправляя несовпадение только наклоном столика (другим регулировочным винтом 15, ось которого перпендикулярна пластинке).

Выполнение третьего условия обеспечивается совмещением изображения перекрестия сетки зрительной трубы с изображением перекрестия сетки, установленной в фокальной плоскости объектива коллиматора. Несовпадение перекрестий по высоте исправляют юстировочным винтом 11 коллиматора.

2.5.3. Методы измерения углов гониометром гс-5

Измерение угла между гранями призмы или клина с помощью автоколлиматора

Гониометр-спектрометр предназначен для измерения углов призм, оптических клиньев, пирамидальности призм, показателей преломления прозрачных материалов и т. п.

При измерении углов призм на гониометре используется автоколлимационное отражение лучей. Для получения минимальной погрешности необходимо рабочие грани призмы отполировать. Размер грани должен быть меньше или равен диаметру зрительной трубы.

После юстировки гониометра испытываемую призму устанавливают на столик 12 (рис. 2.13). Призму устанавливают так, чтобы одна из граней была перпендикулярна одному из винтов 15 наклона столика. Вращая столик в горизонтальной плоскости, необходимо добиться перпендикулярности грани призмы визирной оси автоколлиматора. Затем, поворотом в горизонтальной плоскости трубы или столика с призмой найти автоколлимационное изображение креста от второй грани призмы и винтами 15 также совместить его с перекрестием сетки.

При обратном повороте трубы может получиться несовпадение автоколлимационного изображения перекрестия с перекрестием сетки по вертикали. Тогда следует повторять операцию, каждый раз поочередно сокращая разницу соответствующими винтами наклона столика до тех пор, пока при смене граней перекрестие сетки окуляра зрительной трубы не станет строго совмещаться с автоколлимационным изображением перекрестия от обеих граней. В этом случае обе грани призмы расположены параллельно оси вращения прибора, а измеряемый угол лежит в плоскости перпендикулярной соответствующему ребру призмы.

Схема измерения углов призмы автоколлимационным методом показана на рис. 2.16.

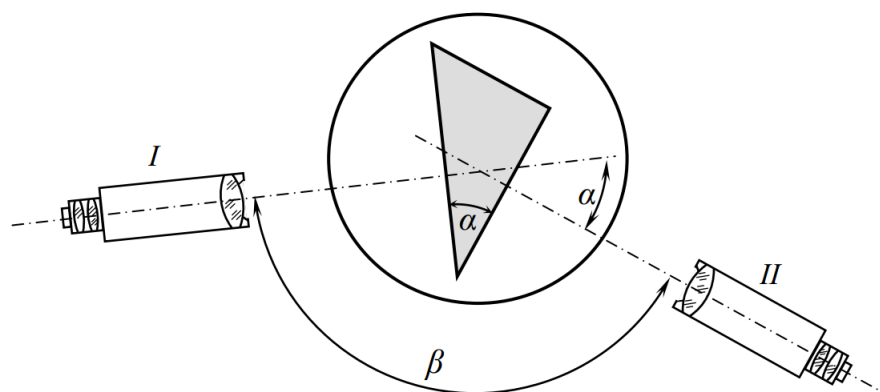


Рис. 2.16.

Схема измерения угла между гранями призмы или клина с помощью автоколлиматора
 α — искомый угол между гранями призмы; β — угол между перпендикулярами к граням

Призму или клин установить на столике 12 так, чтобы одна из граней располагалась перпендикулярно к одному из винтов 15 наклона столика.

Непосредственно измерение угла между гранями призмы производится следующим образом.

В положении I трубы добиваются точного совмещения перекрестия сетки трубы с его автоколлимационным изображением, полученным при отражении от первой грани, и снимают отсчет A_1 по лимбу.

Повернув трубу или столик с лимбом в положение II, до совмещения перекрестия с автоколлимационным изображением при отражении от второй грани, снимают второй отсчет A_2 .

Разность отсчетов по лимбу при первом и втором положении граней призмы есть угол β между перпендикулярами к граням

$$\beta = A_1 - A_2.$$

Искомый угол между гранями призмы α получается как разность 180° и измеренного на гониометре угла β :

$$\alpha = 180^\circ - \beta.$$

Измерение угла между гранями призмы или клина методом отражения

1. Измеряемую призму устанавливают на столик.
2. Между коллиматором и трубой устанавливают угол $30...60^\circ$.

3. Наблюдая в трубу и поворачивая столик сначала рукой, а затем микрометрическим винтом, совмещают изображение перекрестия коллиматора, полученное от первой грани призмы AB , с соответствующей нитью перекрестия сетки трубы (рис. 2.17).

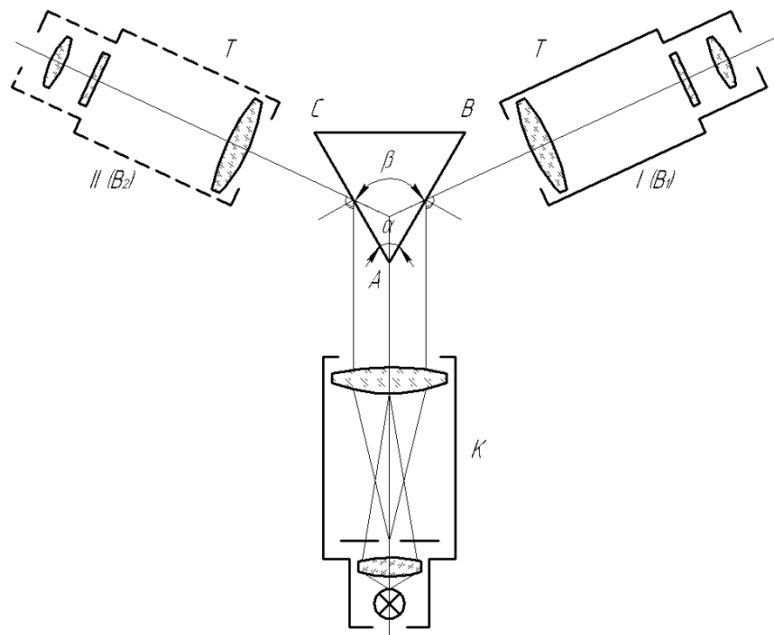


Рис. 2.17

Схема измерения угла между гранями призмы или клина методом отражения:

K — коллиматор; T — зрительная труба

1. Закрепив столик в этом положении, снимают отсчет B_1 .
2. Повернув столик до совмещения перекрестия коллиматора, полученного от второй грани AC , с нитью перекрестия сетки трубы, снять отсчет B_2 .
3. Угол призмы определяется как разность:

$$\alpha = (180^\circ - |B_1 - B_2|).$$

2.5.4. Содержание работы

1. Изучить конструкцию, оптическую схему и методику настройки гониометра-спектрометра ГС-5.
2. Научиться снимать отсчеты углов с помощью измерительного микроскопа гониометра.
3. Изучить схемы измерения угла между гранями призмы или клина с помощью автоколлиматора и методом отражения.
4. Сделать рисунок измеряемой меры с обозначением номинальных углов.
5. Измерить углы образцовой меры.
6. Рассчитать погрешность измерения углов меры.

2.5.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить описание гониометра.
 2. Подсоединить шнур питания гониометра к сети ~ 220 В и включить тумблер освещения шкал, расположенный на основании гониометра.
 3. Наблюдая в окуляр измерительного микроскопа, научиться правильно считывать значения углов по лимбу и дополнительной шкале.
 4. Установить призму на столик гониометра, так чтобы грань призмы была приблизительно перпендикулярна одному из винтов наклона столика. Закрепить столик и лимб неподвижно зажимными винтами 18 и 22.
 5. Проверить настройку автоколлимационной зрительной трубы на бесконечность с помощью плоскопараллельной стеклянной пластины.
 6. Установить автоколлимационную зрительную трубу перпендикулярно грани измеряемой угловой меры.
 7. С помощью винтов наклона столика и поворота трубы добиться совпадения светящихся перекрестий сетки трубы и его автоколлимационного изображения, наблюдаемых в окуляр трубы. Снять показания значения A_1 по отсчетному микроскопу.
 8. Повернуть трубу перпендикулярно другой грани, добиться совпадения светящихся перекрестий и определить A_2 .
 9. Прodelать эту операцию для оставшихся граней, определяя соответствующие значения A_i .
 10. Провести каждое измерение 5 раз, внося полученные данные в таблицу 2.27.
- Таблица для определения одного угла измеряемой угловой меры приведена ниже.

Результаты измерений

№ п/п	1-я грань A_1	2-я грань A_2	β	α_i	$\alpha_{срел}$	ν
1.						
2.						
3.						
...						

Погрешность одного измерения определяют по формуле:

$$\nu = \alpha_{срел} - \alpha_i.$$

11. При контроле всех углов призмы измерения заканчивают для той грани, с которой начали измерения. Сумма полученных углов должна быть равна номинальной; отклонение не должно превышать погрешности измерений на приборе, определяемой его конструктивными параметрами.

12. Рассчитать погрешность измерения углов угловой меры, учитывая, что погрешность однократного измерения на гониометре:

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_l^2 + \sigma_y^2},$$

где σ_n — погрешности совмещения (наведения) перекрестия трубы с автоколлимационными изображениями от граней призмы; σ_l — погрешности совмещения штрихов лимба при отсчетах; σ_y — погрешности установки призмы на столике.

Для гониометра ГС-5 погрешность $\sigma_n = \pm 0,5''$, $\sigma_l = \pm 0,5''$ и $\sigma_y = \pm 1,0''$.

2.5.6. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Устройство и метрологические характеристики гониометра.
3. Поле зрения отсчетного микроскопа и порядок снятия отсчета.
4. Схемы измерения угла между гранями призмы или клина с помощью автоколлиматора и методом отражения.
5. Эскиз измеряемой меры с обозначением номинальных углов.
6. Таблица с результатами измерений.
7. Расчет погрешности измерения углов меры.
8. Вывод.

2.5.7. Контрольные вопросы

1. Как проверить настройку автоколлиматора на бесконечность?
2. Как установить визирные оси зрительной трубы и коллиматора перпендикулярно относительно вертикальной оси вращения?
3. Как проверить параллельность граней измеряемого угла призмы относительно оси вращения?

4. Зачем необходима параллельность между гранями измеряемого угла призмы и осью вращения?
5. Что происходит при вращении маховичка 3?
6. Для чего служат пары подвижных клиньев в оптической системе отсчетного устройства?
7. Для чего служат микрометрические винты 19 и 21?
8. Как определить по отсчетному устройству число десятков минут?

2.6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ НА КОЛЬЦЕВОМ СФЕРОМЕТРЕ

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом работы сферометра мод. ИЗС, методикой измерения и научиться измерять радиус кривизны сферических поверхностей.

2.6.1. Общие сведения

Назначение

Сферометрами называются приборы для измерения радиусов кривизны пар пробных стекол, а также радиусов кривизны выпуклых и вогнутых сферических поверхностей на основе контактного измерения высоты шарового сегмента сферической поверхности. Наибольшее распространение в практике измерительных лабораторий получили сферометры мод. ИЗС. Сферометром измеряют радиусы кривизны сравнительно небольших деталей, которые могут быть установлены на сменном измерительном кольце.

Метрологическая характеристика прибора

Увеличение микроскопа	62 ^x
Длина миллиметровой шкалы, мм	30
Цена деления:	
основной шкалы сферометра, мм	1
линейной шкалы окулярного микрометра, мм	0,1
круговой шкалы окулярного микрометра, мм	0,001
Пределы измерения радиусов пар основных пробных стекол, мм	37,5 – 750
Предельная погрешность результата измерения радиусов пар пробных стекол	±0,02 %
Пределы измерения радиусов отдельных сферических поверхностей, мм	10 – 1000
Предельная погрешность результата измерения радиусов отдельных сферических поверхностей	
от 10 до 37,5 мм	±0,07 %
от 37,5 до 1000 мм	±0,04 %

Конструкция прибора

Внутри литого металлического корпуса прибора 1 (рис. 2.18а) находится измерительный стержень 3 со стеклянной миллиметровой шкалой 2 длиной 30 мм и сферическим наконечником.

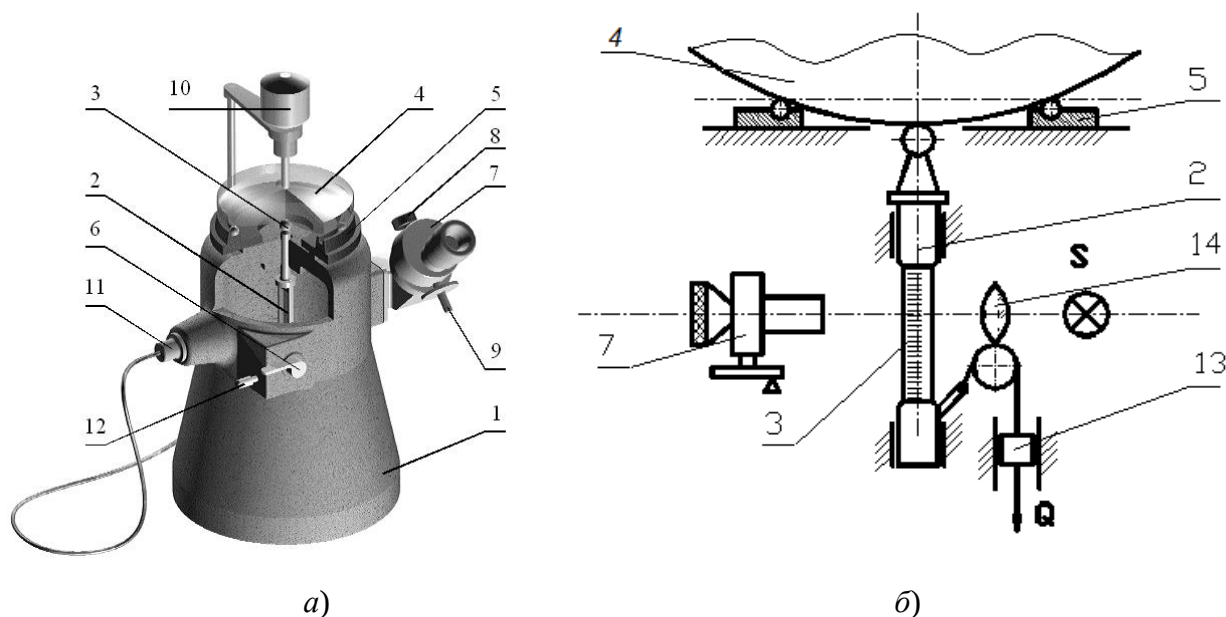


Рис. 2.18.

Устройство кольцевого сферометра мод. ИЗС

1 — корпус; 2 — стеклянная миллиметровая шкала; 3 — измерительный стержень со сферическим наконечником; 4 — контролируемая деталь; 5 — опорное кольцо; 6 — арретир; 7 — микроскоп со спиральным окуляр-микрометром; 8 — винт установки начального отсчета; 9 — маховичок; 10 — упор; 11 — патрон; 12 — винт регулировочный; 13 — противовес; 14 — конденсор

Под действием противовеса 13 (рис. 2.18б) измерительный стержень поднимается вверх и сферическим наконечником соприкасается с поверхностью контролируемой детали 4, установленной на сменном опорном кольце 5. Для опускания измерительного стержня вниз служит арретир 6. Отсчет по шкале производится при помощи микроскопа со спиральным окуляр-микрометром 7 с ценой деления 0,001 мм. Шкала освещается лампочкой S (рис. 2.18б) с рабочим напряжением 3,5 В, помещенной в патрон 11 и включаемой в сеть через трансформатор.

Сферометр снабжается набором из семи сменных колец 5, на каждом из которых неподвижно (под 120°) укреплены три шарика, обеспечивающих точечный контакт с контролируемой поверхностью детали. Набор состоит из семи колец с диаметрами 15, 21, 30, 42, 60, 85 и 120 мм. Конструктивные параметры опорных колец сферометра (радиусы опорного кольца и радиусы шариков опорных колец) указаны в аттестате завода-изготовителя прибора и представлены в таблице 2.28.

В случае, если вес измеряемого изделия недостаточен для преодоления измерительного усилия, применяют упор 10, который прижимает контролируемую деталь к опорному кольцу сферометра.

Таблица 2.28

Конструктивные параметры опорных колец сферометра

№ кольца	Радиус опорного кольца r , мм	Радиус шарика опорного кольца ρ , мм
1	59,9741	5,139
2	42,5000	5,134
3	29,9671	4,336
4	21,2416	3,178
5	14,9865	2,354
6	10,6379	1,252
7	7,5004	1,224

Оптическая схема сферометра. Принципиальная оптическая схема сферометра мод. ИЗС представлена на рис. 2.19.

Свет от лампы 1 проходит зеленый светофильтр 2, конденсор 3 и равномерным пучком 4 освещает основную шкалу 5 с ценой деления 1 мм. Изображение шкалы 5 проектируется линзами 6 и 7 объектива микроскопа через призмы 9 и 10 в плоскость, расположенную между неподвижной шкалой 12 с ценой деления 0,1 мм и вращающейся отсчетной шкалой 11 со спиральным нониусом и ценой деления 0,001 мм. Отсчет снимается через линзы окуляра 13 и 14.

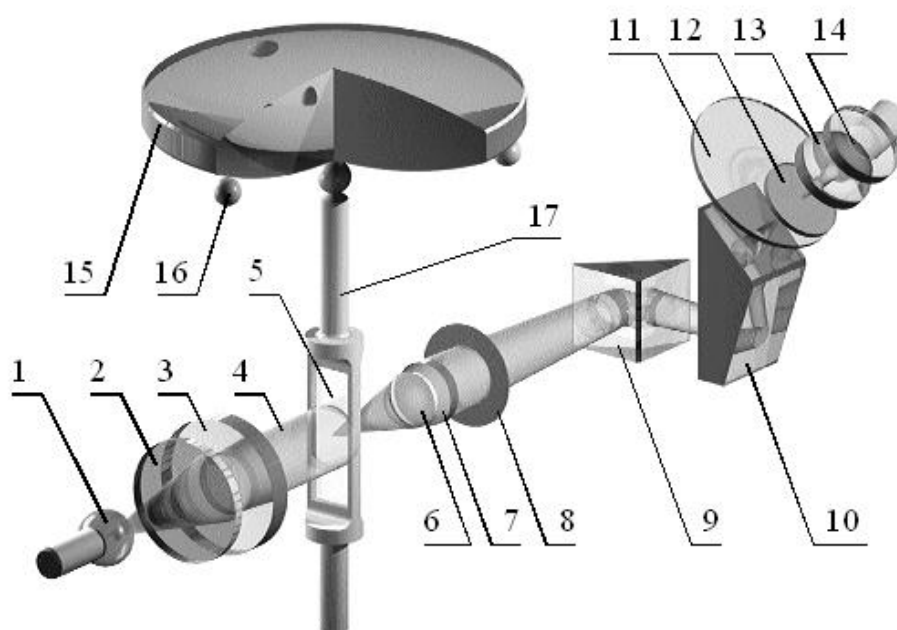


Рис. 2.19.

Принципиальная оптическая схема сферометра мод. ИЗС

- 1 — лампочка; 2 — светофильтр; 3 — конденсор; 4 — равномерный пучок света;
 5 — основная шкала; 6, 7 — линзы; 8 — апертурная диафрагма; 9, 10 — призмы;
 11 — вращающаяся шкала со спиральным нониусом; 12 — неподвижная шкала;
 13, 14 — линзы окуляра; 15 — контролируемая деталь; 16 — шарики опорного кольца;
 17 — измерительный стержень

Шкала 5, согласно принципа Аббе, расположена на одной линии с измерительным стержнем 17 и жестко связана с ним. Стержень перемещается поступательно под действием контролируемой детали 15, установленной на шарики 16 опорного кольца. Таким образом, перемещение основной шкалы 5 равно перемещению измерительного стержня 17.

Апертурная диафрагма 8, установленная вблизи задней фокальной плоскости микрообъектива, предназначена для формирования телецентрического хода главного луча в пространстве предметов. Под **телецентрическим ходом лучей** в классической формулировке понимают такой ход, при котором главные лучи внеосевых пучков, входящих или выходящих из оптической системы, параллельны оптической оси.

Отсчетное устройство. Величина перемещения шкалы у сферометров может быть отсчитана с точностью до 0,001 мм с помощью отсчетного микроскопа, который состоит из объектива, окуляра и находящегося между ними окулярного микрометра.

Окулярные микрометры могут быть спиральными, винтовыми и клиновыми. Кроме того, для точного отсчета величины перемещения шкалы используется поперечный масштаб.

В окулярном спиральном микрометре, входящем в отсчетное устройство, использована математическая кривая — спираль Архимеда ($\rho = \alpha\varphi$). На рис. 2.20 показана кривая Архимеда (начало дано штриховой линией) при $\alpha = 1$, т. е. по формуле $\rho = \varphi$. Оси координат для построения спирали Архимеда нанесены на одном плоском стекле, а спираль нанесена на другом.

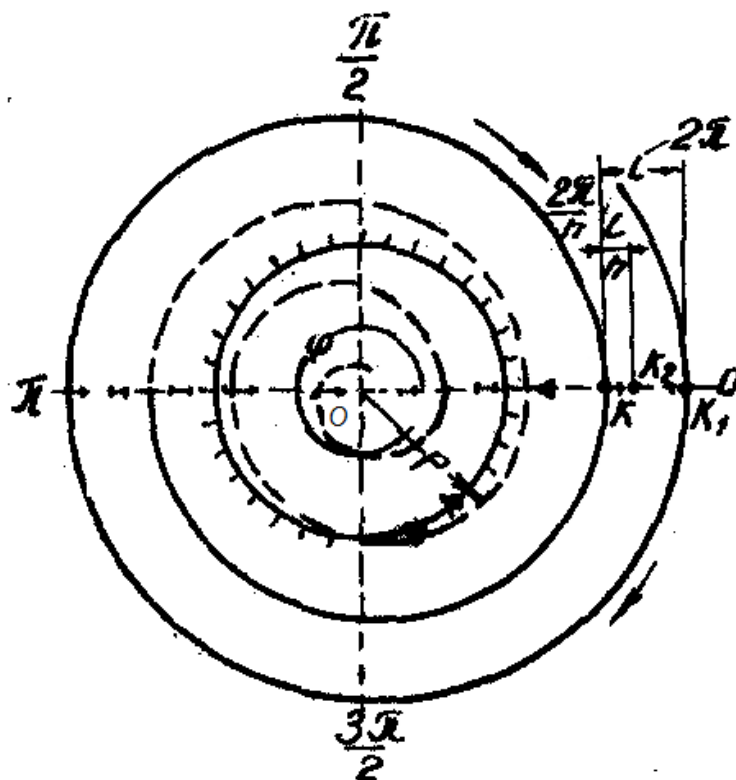


Рис. 2.20.
Спираль Архимеда

Эти плоскости и центр O совмещены. Спираль вращается вокруг центра O по часовой стрелке. За один оборот спирали точка K пересечения спирали с осью абсцисс перемещается вправо вдоль оси абсцисс и занимает положение K_1 , т. е. перемещается на величину $KK_1 = l$ (где l — шаг спирали, соответствующий одному ее обороту, т. е. углу 2π).

Если вместо начала спирали нанести круговую шкалу с центром в точке O и числом делений n , а указатель ($\blacktriangleleft$) нанести на оси абсцисс, то при повороте по часовой стрелке стекла со спиралью и круговой шкалой вокруг центра O на одно ее деление, которое отсчитывается с помощью указателя, точка K переместится в точку K_2 . Перемещение точки K в этом случае ($KK_2 = l / n$); будет соответствовать повороту стеклянного диска со спиралью и круговой шкалой на угол $2\pi/n$.

Рассмотренные положения использованы в конструкции отсчетного устройства с окулярным спиральным микрометром (рис. 2.21), состоящим из объектива 5 и окуляра 6.

Между объективом 5 и окуляром 6 находится стеклянный диск 1, на котором снизу фотографическим способом нанесены двойные витки архимедовой спирали и круговая шкала, а также стеклянная пластинка 2 с нанесенными сверху шкалой с ценой деления 0,1 мм и указателем.

Зазор между пластинками 1 и 2 находится в пределах глубины фокусировки, поэтому практически можно считать, что шкалы, указатель и спираль лежат в одной плоскости XX .

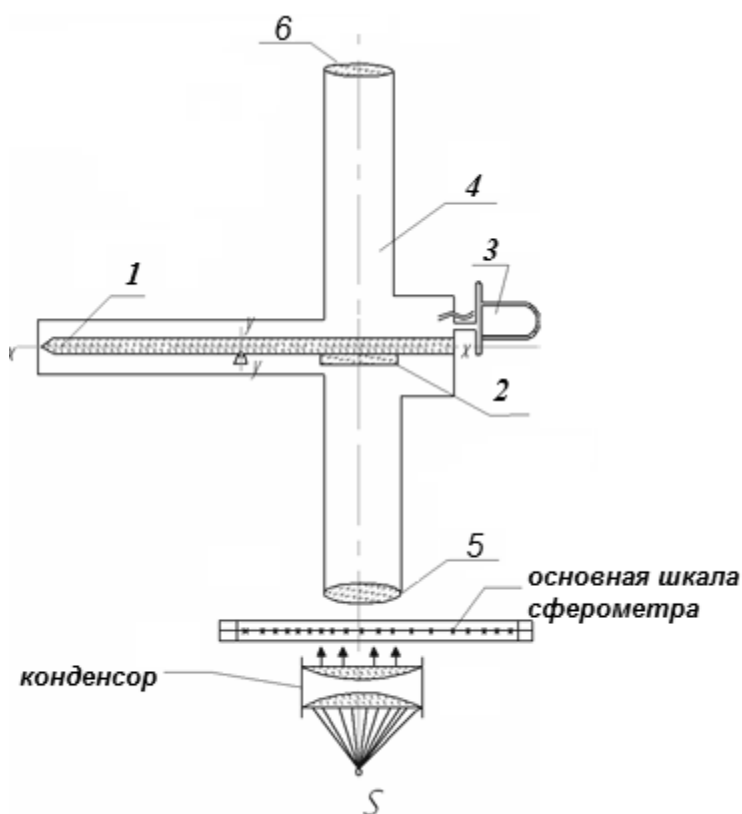


Рис. 2.21.
Схема спирального микрометра

Отсчет показаний с помощью микроскопа со спиральным окуляр-микрометром. В поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 2.22) одновременно видны: два-три крупных штриха миллиметровой шкалы, обозначенные крупными цифрами, неподвижная вертикальная шкала десятых долей миллиметра с делениями от 0 до 10 и круговая шкала для отсчета сотых и тысячных долей миллиметра, а также двойные витки спирали.

Чтобы произвести отсчет, необходимо предварительно вращением маховичка 3 (рис. 2.21) повернуть диск 1 со спиралью Архимеда с круговой шкалой с ценой деления 0,001 мм и подвести двойной виток спирали так, чтобы миллиметровый штрих в зоне двойных витков оказался точно посередине между двойными линиями витков, а затем снять показания со всех трех шкал (рис. 2.22).

Индексом для отсчетов миллиметров служит нулевой штрих десятых долей миллиметра. На рис. 2.22 миллиметровый штрих "14" уже прошел нулевой штрих шкалы десятых долей миллиметра, а штрих "15" еще не дошел до нулевого штриха. Следовательно, показания миллиметровой шкалы будет 14 мм.

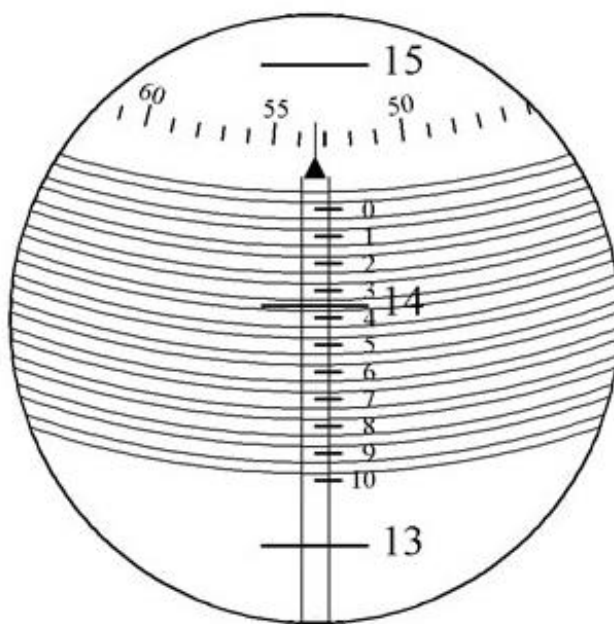


Рис. 2.22.

Поле зрения спирального окуляр-микрометра

Число десятых долей миллиметра будет обозначено цифрой последнего уже пройденного штриха шкалы десятых долей миллиметра. В нашем случае, последний пройденный штрих шкалы десятых долей миллиметра — 3, т. е. показание шкалы десятых долей миллиметра соответствует показанию 0,3 мм.

Сотые и тысячные доли миллиметра отсчитываются по круговой шкале, указателем для отсчета по ней служит стрелка, цена деления круговой шкалы 0,001 мм. На рис. 2.22 стрелка прошла 53 штрих.

Таким образом, окончательный отсчет будет 14,353 мм.

2.6.2. Подготовка прибора к работе

1. Включить прибор с сеть 220 В.
2. Включить тумблер трансформатора.
3. Проверить освещенность шкалы. В случае отсутствия освещения — проверить работоспособность лампочки 1 (рис. 2.19).
4. Установить на прибор опорное кольцо, диаметр которого возможно меньше отличается от диаметра измеряемого изделия.

2.6.3. Методы измерения

Измерение двойной стрелки пары пробных стекол

Определение радиуса кривизны пробных стекол сводится к измерению на сферометре двойной стрелки шарового сегмента $2h = KD$ (рис. 2.23) и вычислению радиуса кривизны.

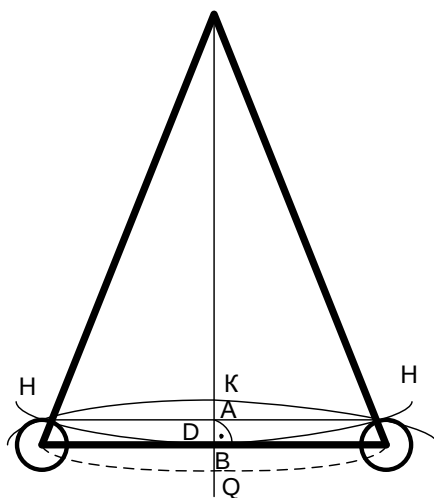


Рис. 2.23.

Схема измерения радиуса кривизны пробных стекол

Измерение двойной стрелки пары пробных стекол производится следующим образом.

На приборе устанавливают опорное кольцо, диаметр которого возможно меньше отличается от диаметра измеряемой пары пробных стекол.

Предварительно шарики колец и поверхность изделия тщательно промывают и мягкой кисточкой смахивают с них пыль.

С помощью арретира измерительный стержень отводят вниз и на кольцо осторожно кладут одно из стекол пары. Рычаг отпускают, и стержень, плавно поднимаясь, приходит в соприкосновение с измеряемой поверхностью.

После этого производится отсчет с помощью микроскопа со спиральным окулярным микрометром. Для повышения точности измерений их повторяют не менее пяти раз и вычисляют среднее значение из полученных отсчетов.

Далее на кольцо кладут второе стекло пары и аналогичным образом производят не менее пяти измерений, после чего вычисляют среднее значение. Разность двух средних отсчетов по шкале даст величину двойной стрелки измеряемой пары пробных стекол $2h = KD$.

Вычисление радиуса кривизны пары пробных стекол

Радиус кривизны R пары пробных стекол вычисляется по формуле:

$$R = \frac{r_o^2}{2h} + \frac{h}{2},$$

где $2h$ — измеренная двойная стрелка; r_o — радиус окружности, по которой пересекаются обе сферические поверхности пары пробных стекол при наложении их на шарики опорного кольца сферометра (т. е. радиус окружности, описываемой точкой H при вращении ее вокруг вертикальной оси OG_0 (на рис. 2.24).

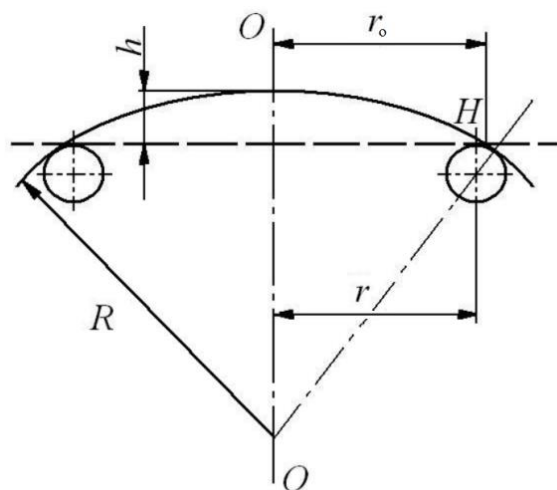


Рис. 2.24.

Схема определения величины радиуса

Величина r_o определяется по формуле:

$$r_o = r + \frac{\rho^2 \cdot r}{2(\tilde{R}^2 + r^2)},$$

где r — радиус опорного кольца; ρ — радиус шарика опорного кольца; $\tilde{R}$ — приближенное значение радиуса кривизны измеряемой пары пробных стекол, которое может быть известно заранее как номинальное значение (для образцовых пробных стекол) или вычислено по приближенной формуле:

$$\tilde{R} = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

Для предотвращения грубых промахов можно рекомендовать повторное измерение двойной стрелки пары пробных стекол с использованием следующего кольца, ближайшего по диаметру к измеряемой паре. За истинное значение радиуса кривизны принимается среднее взвешенное значение радиуса кривизны измеренной пары пробных стекол с учетом весов колец:

$$R = \frac{G_1 \cdot R_1 + G_2 \cdot R_2}{G_1 + G_2},$$

где R_1 — значение, полученное с большим опорным кольцом; R_2 — значение, полученное с меньшим опорным кольцом; G_1, G_2 — вес опорных колец сферометра.

При этом для большего кольца принимается вес, равный квадрату отношения радиусов колец, а для меньшего — вес равный единице. Ряд радиусов колец сферометра мод. ИЗС построен по соотношению $\sqrt{2}:1$, что обеспечивает отношение весов $G_1 : G_2 = 2 : 1$.

Пример:

При измерении пары пробных стекол на кольцах с диаметрами 120 и 85 мм получены соответственно значения радиусов кривизны $R_1 = 400,040$ мм и $R_2 = 400,050$ мм.

Среднее взвешенное значение радиуса кривизны измеренной пары пробных стекол с учетом весов колец будет равно:

$$R = \frac{2 \cdot R_1 + 1 \cdot R_2}{2 + 1} = \frac{2 \cdot 400,040 + 400,050}{3} = 400,043 \text{ мм.}$$

Измерение стрелки отдельной сферической поверхности

Определение радиуса кривизны отдельной выпуклой или вогнутой сферической поверхности сводится к измерению на сферометре стрелки AD или AK шарового сегмента и вычислению радиуса кривизны (рис. 2.23).

Измерение стрелки отдельной сферической поверхности производится следующим образом.

На приборе устанавливают опорное кольцо, диаметр которого возможно меньше отличается от диаметра измеряемого изделия.

Предварительно шарики колец и поверхность изделия тщательно промывают и мягкой кисточкой смахивают с них пыль.

С помощью арретира измерительный стержень отводят вниз и на опорное кольцо осторожно устанавливают плоскую стеклянную платину. Арретир отпускают и измерительный стержень, плавно поднимаясь, приходит в соприкосновение с пластинкой. Затем с помощью микроскопа производят отсчет по шкале. Для повышения точности измерений их повторяют не менее пяти раз и вычисляют среднее значение из полученных отсчетов.

Далее на кольцо осторожно кладут измеряемое изделие со сферической поверхностью и аналогичным образом производят не менее пяти измерений, после чего вычисляют среднее значение из полученных отсчетов для выпуклой и вогнутой поверхности.

Разность двух средних отсчетов по шкале даст величину стрелки AK или AD измеряемой сферической поверхности.

Вычисление радиуса кривизны отдельной сферической поверхности

Вычисление радиуса кривизны отдельной сферической поверхности

производится по следующим формулам:

– для изделий с выпуклой поверхностью

$$R = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2} - \rho,$$

где r — радиус опорного кольца; h — измеренная стрелка; ρ — радиус шарика опорного кольца.

– для изделий с вогнутой поверхностью

$$R = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2} + \rho.$$

Введение поправки на деформацию от нагрузки

В тех случаях, когда при измерении радиусов кривизны отдельных сферических поверхностей имеется значительная разница в весе между плоской стеклянной пластиной и измеряемым изделием, необходимо учесть величину деформации от нагрузки.

Для этого из таблицы 2.29 берут поправку на величину стрелки прогиба в зависимости от веса изделия и выбранного кольца.

Таблица 2.29

Поправки на деформацию от нагрузки

Сила веса изделия, Н	Величина деформации (в мкм) для колец						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
5	0,9	0,9	0,9	1,0	,9	1,2	1,2
10	1,4	1,4	1,4	1,6	1,5	1,9	1,9
15	1,8	1,8	1,8	2,1	1,9	2,5	2,5
20	2,2	2,2	2,3	2,5	2,3	3,0	3,0
25	2,5	2,5	2,6	2,9	2,7	3,5	3,5
30	2,9	2,9	3,0	3,3	3,1	4,0	4,0

Могут иметь место следующие случаи:

- изделие со сферической поверхностью тяжелее плоской стеклянной пластины — поправка на стрелку при выпуклой поверхности вводится со знаком в минус, а при вогнутой со знаком плюс.

- изделие со сферической поверхностью легче плоской стеклянной пластины — поправка при выпуклой сферической поверхности будет со знаком плюс, а при вогнутой — со знаком минус.

Пример.

Выбрано кольцо №1.

Сила веса плоской стеклянной пластинки 5 Н.

Сила веса изделие с выпуклой сферической поверхностью — 10 Н.

По таблице 2.29 находим величину деформации от наложения плоской пластины (0,9 мкм), затем величину деформации от наложения изделия со

сферической поверхностью (1,4 мкм).

Определяем разность деформаций (0,5 мкм).

Таким образом, поправка на стрелку будет 0,5 мкм.

Точность измерения

При соблюдении методики измерения двойной стрелки гарантируется для радиусов кривизны от 37,5 до 750 мм пар основных пробных стекол (ОПС) рассчитанные значения радиуса кривизны обеспечивают предельную погрешность результата измерения 0,02%, при этом величины радиусов опорного кольца и шарика указываются с предельной погрешностью соответственно $\pm 0,0012$ мм и $\pm 0,0005$ мм.

Предельная погрешность результата при определении радиуса кривизны отдельных выпуклых и вогнутых сферических поверхностей вычисляются по формуле:

$$dR_{lim} = \pm \sqrt{\left(\frac{r}{h}\right)^2 \cdot (\delta r_{lim})^2 + \left(\frac{h^2 + r^2}{2h^2}\right)^2 (\delta h_{lim})^2 + (\delta \rho_{lim})^2},$$

где δr_{lim} , δh_{lim} и $\delta \rho_{lim}$ — предельные погрешности результатов при определении радиуса кольца r , величины стрелки h и радиуса шарика опорного кольца ρ .

При соблюдении методики измерения стрелки значение δh_{lim} не превышает $\pm 0,0008$ мм; предел допускаемой погрешности измерения радиуса опорных колец δr_{lim} и шариков сферометра мод. ИЗС $\delta \rho_{lim}$ не превышает $\pm 0,0012$ мм и $\pm 0,0005$ мм соответственно.

2.6.4. Содержание работы

1. Изучить конструкцию, оптическую схему, принцип работы сферометра.
2. Ознакомиться с методикой измерения радиуса кривизны сферических поверхностей.
3. Научиться снимать отсчеты с помощью микроскопа со спиральным окуляр-микрометром.
4. Выполнить рисунок, иллюстрирующий схему измерения радиуса кривизны пробных стекол и радиуса окружности, по которой пересекаются обе измеряемые сферические поверхности.
5. Определить радиус кривизны отдельной выпуклой и вогнутой сферической поверхности.
6. Определить предельную погрешность полученного результата.

2.6.5. Порядок выполнения работы

Для подготовки сферометра к работе следует включить его в сеть, включить тумблер трансформатора и установить опорное кольцо, диаметр которого на 20% отличается от диаметра измеряемого изделия.

Измерение стрелки шарового сегмента отдельной сферической поверхности на сферометре мод. ИЗС:

1. Установить на сферометр опорное кольцо, диаметр которого возможно меньше отличается от диаметра измеряемой детали со сферической поверхностью;
2. Отвести с помощью арретира измерительный стержень вниз и осторожно положить на опорное кольцо плоскую стеклянную пластину;
3. Плавнo отпустить арретир и привести в соприкосновение измерительный наконечник с измеряемой деталью;
4. Вращая маховичок 7, штрих миллиметровой шкалы установить на середину между двойными линиями спирали и снять отсчет и записать его в таблицу 2.30. Измерения плоской стеклянной пластины повторить 5 раз. Рассчитать среднее значение показаний.

Таблица 2.30

Результаты измерения

№	Плоская стеклянная пластина	Выпуклая поверхность	Вогнутая поверхность
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее значение			

5. Нажать арретир, положить на опорное кольцо измеряемую деталь со сферической поверхностью. Повторить операции пп. 3–4, снять отсчет и записать его в таблицу 2.30. Измерения сферической поверхности повторить 5 раз. Рассчитать среднее значение показаний.
6. Измерения проводить для выпуклой и вогнутой поверхностей.
7. Результаты измерения занести в таблицу 2.30.
8. Рассчитать величину стрелки сферических поверхностей: разность двух средних отсчетов по шкале для плоской и сферической поверхностей дает высоту (стрелку) измеряемой поверхности.
9. Рассчитать радиус кривизны отдельной сферической поверхности.
10. Рассчитать предельную погрешность результата для каждой измеряемой поверхности.

Измерение двойной стрелки шарового сегмента пары пробных стекол на сферометре мод. ИЗС:

1. Установить на сферометр опорное кольцо, диаметр которого возможно меньше отличается от диаметра измеряемой детали (пары пробных стекол).
2. Отвести с помощью арретира измерительный стержень вниз и

осторожно положить на опорное кольцо одно стекло из пары.

3. Плавно отпустить арретир и привести в соприкосновение измерительный наконечник с измеряемой поверхностью.

4. Произвести отсчет по шкале с помощью микроскопа со спиральным микрометром. Отсчет занести в таблицу 2.31. Рассчитать среднее значение.

Таблица 2.31

Результаты измерения

№	Кольцо r_1		Кольцо r_2	
	Выпуклая поверхность	Вогнутая поверхность	Выпуклая поверхность	Вогнутая поверхность
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				
Величина двойной стрелки $2h$				

1. Для повышения точности измерений отсчеты повторить не менее пяти раз и записать их в таблицу 2.31.

2. Положить на опорное кольцо второе стекло и аналогичным образом произвести не менее пяти измерений.

3. Вычислить величину двойной стрелки измеряемой пары стекол $2h$ (разность двух средних отсчетов).

4. Во избежание промахов производится повторное измерение двойной стрелки пары пробных стекол с использованием ближайшего по номеру меньшего кольца, результаты записываются в таблицу 2.31.

5. Вычислить приближенное значение радиусов кривизны измеряемой пары пробных стекол для используемых опорных колец.

6. Рассчитать радиус окружности, по которой пересекаются обе измеряемые сферические поверхности (радиус описываемой точкой H окружности при вращении ее вокруг вертикальной оси) r_o .

7. Рассчитать радиус кривизны пары пробных стекол R .

8. Найти среднее взвешенное значение радиуса кривизны измеренной пары пробных стекол с учетом весов используемых колец.

9. Рассчитать предельную погрешность полученного результата.

2.6.6. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.

2. Устройство и метрологические характеристики сферометра.

3. Оптическая схема сферометра.
4. Поле зрения отсчетного микроскопа и порядок снятия отсчета.
5. Схема измерения радиуса кривизны пробных стекол и радиуса окружности, по которой пересекаются обе измеряемые сферические поверхности.
6. Таблица с результатами измерений радиуса кривизны отдельной выпуклой и вогнутой сферической поверхности.
7. Расчёт предельной погрешности полученного результата.
8. Вывод.

2.6.7. Контрольные вопросы

1. Какой принцип работы спирального микрометра?
2. Как снять отсчет по спиральному микрометру?
3. Принцип работы сферометра?
4. Как вычислить радиус кривизны сферической поверхности?
5. Какие составляющие влияют на точность измерения радиуса кривизны?

2.7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ПРИБОР ДЛЯ ОДНОПРОФИЛЬНОГО КОНТРОЛЯ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Цель работы: изучение конструкции прибора и техники измерения кинематической погрешности зубчатых колес.

2.7.1. Общие сведения

Назначение

Прибор предназначен для комплексной однопрофильной проверки мелко модульных зубчатых колес с модулем от 0,2 до 1 мм и диаметром делительной окружности до 75 мм.

Метрологическая характеристика прибора

Модуль проверяемых колес в мм:	0,2...1,0
Диаметр делительной окружности проверяемых колес, мм	20...75
Максимальное расстояние между измерительными центрами, мм	90
Длина перемещения измерительной каретки микрометрическим винтом, мм	40
Длина измерительной рейки, мм	120
Габариты прибора, мм	600x400x350
Вес прибора, кг	85

Конструкция прибора

Общий вид прибора для однопрофильного контроля мелко модульных зубчатых колес представлен на рисунке 2.25.

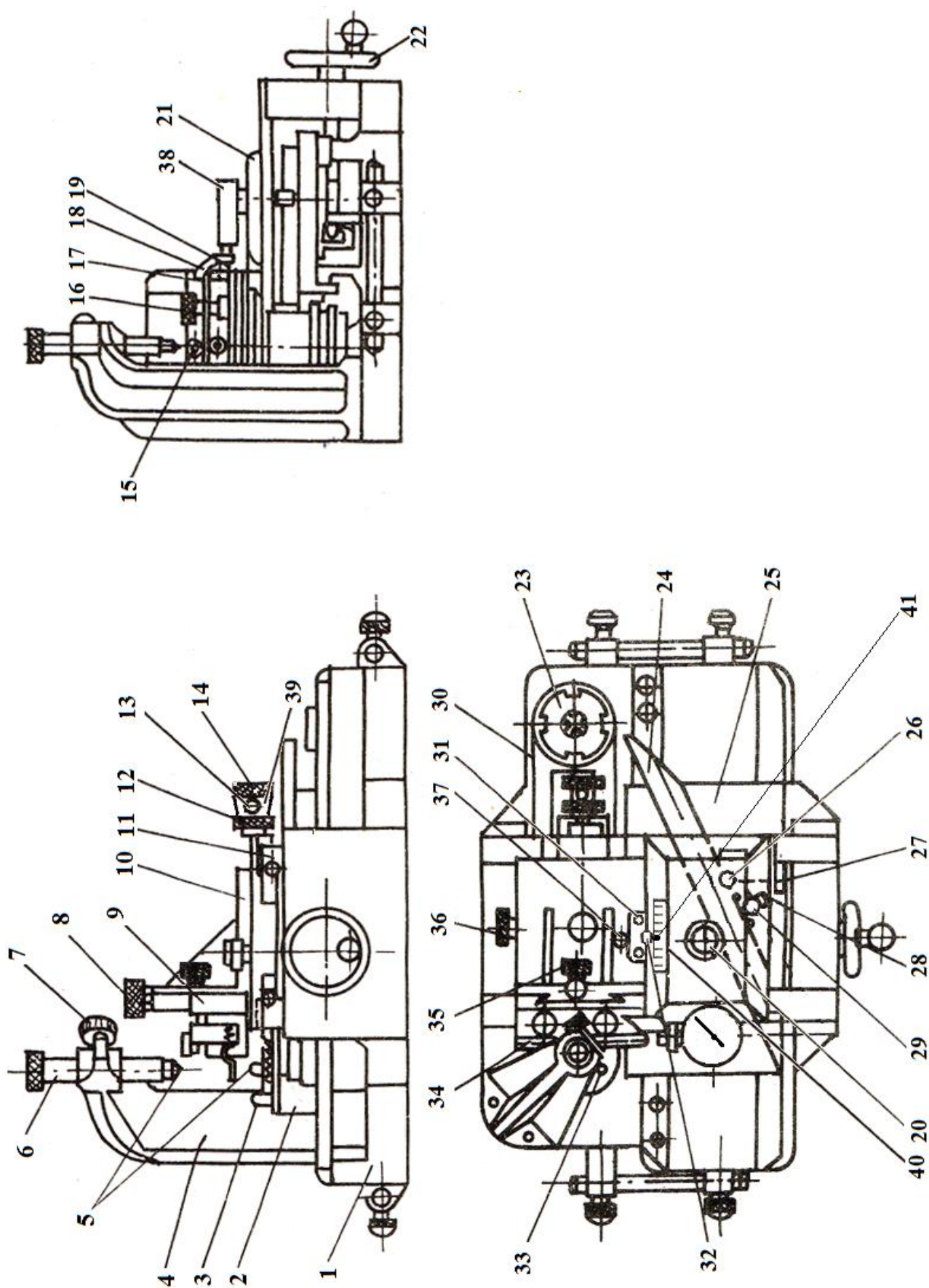


Рис. 2.25.

Общий вид прибора для однопрофильного контроля мелко модульных зубчатых колес

Основанием прибора служит чугунная станина 1. Проверяемое зубчатое колесо устанавливается в измерительных центрах 5. Пиноль 6 верхнего центра закрепляется в кронштейне 4 винтом 7. Нижний центр вставляется в ось, закрепленную в станине 1, вокруг которой вращается диск обката 2. На крышке диска обката установлена стойка 3 с двумя винтами, между которыми зажимается поводок хомутика, закрепляемого на проверяемом зубчатом колесе.

Диск обката 2 получает вращение от продольной каретки 25 через стойку и стальную ленту 30. Натяжение ленты создается пружиной, усилие которой передается через плунжеры и шарикоподшипники на диск обката 2 и натяжной барабан 23. Ось натяжного барабана 23 запрессована в рычаге, качающемся вокруг оси. Продольная каретка 25 перемещается маховичком 22 по прямоугольному направляющему. От синусной линейки 24 через эксцентрик 20 или палец 37 движение передается на поперечную каретку 21.

Контакт эксцентрика с синусной линейкой создается грузом. Поперечная каретка 21 перемещается на шариках по направляющим 11, расположенным над синусной линейкой. Причем направляющие продольной каретки 25 и поперечной каретки строго перпендикулярны между собой.

По направляющим поперечной каретки может перемещаться каретка 10, которая устанавливается микровинтом 14 на заданное расстояние от оси центров 5. Каретка 10 несет на себе вертикальную каретку 9, устанавливаемую винтом 8 по высоте в зависимости от расположения венца проверяемого зубчатого колеса. Затем каретка 9 фиксируется винтом 35. На вертикальной каретке закреплены верхние концы двух плоских пружин 19, которые вместе с кареткой и планкой 17 образуют пружинный параллелограмм, благодаря которому рейка может смещаться на некоторую величину в поперечном направлении. Это смещение измеряется зубчатой головкой 38, закрепленной в кронштейне 18.

2.7.2. Подготовка прибора к работе

- Подготовить набор плоскоконцевых мер длины.
- Приготовить измерительную головку и штангенциркуль.
- Перед работой на приборе трущиеся части его должны быть смазаны.

Особое внимание необходимо обратить на смазку диска обката 2 (рис. 2.25). В диск через отверстие, закрытое на время работы прибора винтом 33, заливается жидкое масло. Диск за крышку слегка оттягивается вверх и несколько раз поворачивается маховичком 22 до получения легкого и плавного хода.

2.7.3. Метод измерения

Основным методом контроля кинематической точности зубчатого колеса и передачи является однопрофильная обкатка его с парным колесом, а для обеспечения взаимозаменяемости колес — обкатка его с точным зубчатым колесом, либо с точной зубчатой рейкой или червяком, являющимися образцовыми элементами.

Метод контроля состоит в определении разности действительных и номинальных угловых положений контролируемого зубчатого колеса при

однопрофильном зацеплении с ведущим его измерительным колесом или рейкой.

Кинематическая погрешность колеса при комплексной однопрофильной обкатке практически определяется сравнением углов поворотов ведомых звеньев двух систем, одна из которых состоит из зубчатой передачи, а вторая из механизма прибора, обеспечивающего точную (образцовую) передачу с заданным передаточным отношением.

Проверяемое зубчатое колесо 4 (рис. 2.26) закрепляется в центрах, ось которых совпадает с осью вращения обкатного диска 3.

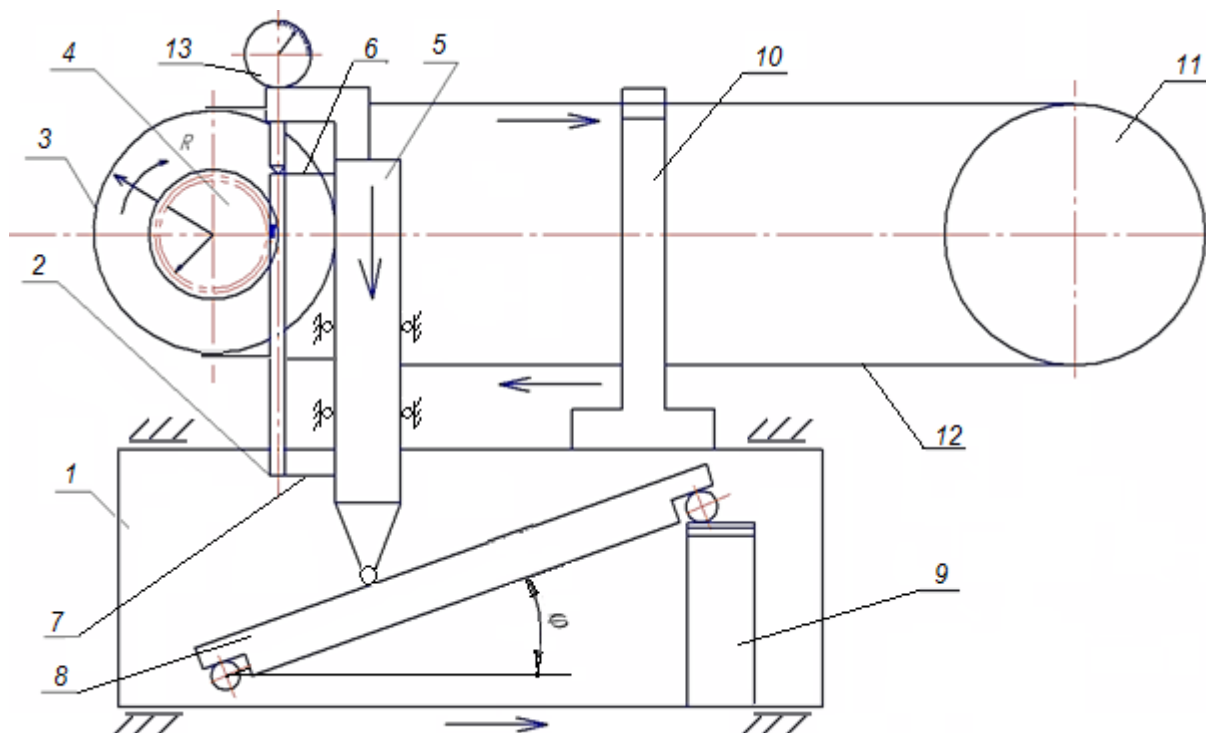


Рис. 2.26.

Принципиальная схема контроля кинематической погрешности колеса

1 — каретка продольного перемещения; 2 — измерительная рейка; 3 — диск обката;
4 — проверяемое зубчатое колесо; 5 — каретка поперечного перемещения; 6, 7 — плоские пружины параллелограмма; 8 — синусная линейка; 9 — набор концевых мер длины;
10 — стойка; 11 — натяжной барабан; 12 — лента; 13 — зубчатая измерительная головка

В зацепление с зубчатым колесом вводится измерительная рейка 2, установленная на расстоянии радиуса делительной окружности от центра колеса. Каретка 5 поперечного перемещения, а вместе с ней и измерительная рейка 2, получают заданное движение от синусной линейки 8. Настройка синусной линейки на угол производится таким образом, чтобы при повороте диска 3 на один оборот перемещение каретки 5 было равно длине делительной окружности проверяемого колеса (условия обкатки без скольжения). Отсюда получаем формулу для определения угла наклона синусной линейки

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{r}{R} = \frac{mz}{2R},$$

где R — радиус диска обката; r — радиус делительной окружности проверяемого колеса; z — число зубьев проверяемого колеса; m — модуль зубчатого колеса.

Для измерения погрешностей проверяемого колеса рейка 2 имеет возможность перемещаться относительно каретки 5 (в приборе рейка подвешена на двух параллельных плоских пружинах 6, 7, образующих упругую направляющую). Это перемещение измеряется зубчатой головкой 13. Измерительное усилие головки прижимает зубья рейки, к одноименным профилям зубчатого колеса. При перемещении каретки 1 с синусной линейкой 8 движение через стойку 10 передается на стальную ленту 12. Лента заставляет вращаться диск 3, а вместе с ним и проверяемое зубчатое колесо. Погрешности зубчатого колеса вызывают дополнительное смещение рейки, регистрируемое измерительной головкой.

Определение отклонений действительного кинематического закона движения, осуществляемого контролируемым колесом, необходимо для делительных и отсчетных передач, так как измеряемые отклонения за оборот колеса являются основной характеристикой точности.

Для силовых быстроходных передач более важным показателем является нарушение кинематического закона движения, возникающее при входе и выходе зубьев в зацепление, так как эти отклонения вызывают циклические погрешности зубцовой частоты, создающие динамические перегрузки при работе передачи, шум и вибрацию при ее эксплуатации.

Метод однопрофильного контроля при осуществлении непрерывного обката с измерительным элементом является типичным случаем комплексного контроля, поскольку получаемый результат дает непосредственно комплексную оценку кинематической точности изделия и характеризует непрерывное изменение погрешностей углового положения контролируемого колеса по углу его поворота.

Этот результат может быть лишь приближенно получен при измерении ряда частных погрешностей, таких как отклонений основного шага, накопленной погрешности окружного шага, которые вместе с тем, могут позволить оценить основные компоненты комплексной однопрофильной погрешности.

2.7.4. Содержание работы

1. Изучить конструкцию и методику настройки прибора для однопрофильного контроля мелкозубчатых колес.
2. Изучить метод измерения кинематической погрешности зубчатых колес.
3. Изучить принцип работы и кинематическую схему прибора.
4. Произвести настройку прибора для контроля заданного образца зубчатого колеса.
5. Провести измерения кинематической погрешности зубчатого колеса.
6. Оформить отчет по выполненной работе.

2.7.5. Порядок выполнения работы

1. Снять измеряемое зубчатое колесо и посчитать количество зубьев z .
2. Измерить диаметр окружности вершин d_a измеряемого зубчатого колеса.
3. Определить модуль измеряемого зубчатого колеса из выражения:

$$d_a = m(z + 2)$$

и округлить полученное значение до стандартного значения (1 ряд предпочтителен):

1 ряд	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
2 ряд	0,22	0,28	0,35	0,45	0,55	0,7	0,9	

4. Каретку 25 (рис. 2.25) отводят в крайнее правое положение и устанавливают синусную линейку по блоку концевых мер на заданный угол, определяемый по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{D},$$

где d — диаметр делительной окружности проверяемого зубчатого колеса;
 D — диаметр диска обката ($D = 72$ мм).

Размер блока концевых мер для установки синусной линейки на угол определяется по формуле:

$$M = L \cdot \sin \varphi,$$

где L — расстояние между осями роликов синусной линейки ($L = 200$ мм).

Блок концевых мер закладывают между упорной планкой 27 и роликом 26 синусной линейки, при этом винт 28 должен быть ввернут до отказа, а гайка 29 отпущена. После установки блока концевых мер ролик синусной линейки прижимается с постоянным усилием к блоку концевых мер, а гайка 29 фиксируется (рис. 2.25), затем продольная каретка отводится в прежнее левое положение.

5. В планке вертикальной каретки винтами 16 закрепляют рейку 34 соответствующего модуля. Риски шкалы 40 и нониусного барабана совмещают с нулевым штрихом линейки и указателя таким образом, чтобы линия делительной прямой рейки проходила через ось центров прибора.

Установку на "нуль" производят следующим образом. В центрах прибора закрепляют аттестованную цилиндрическую оправку. Рейку подводят к ней таким образом, чтобы вершинами зубьев она коснулась оправки.

Отпустив винты 13 (нониусного барабана 39) и 31 (указателя 41) миллиметровой шкалы 40 отсчета величины перемещения каретки 10 с помощью гайки 32 и нониусного барабана 39 устанавливают размер, соответствующий радиусу закрепленной в центрах оправки плюс модуль рейки. Затем нониусный барабан 39 закрепляют на микрометрическом винте 14 винтом 13, а указатель 41 на каретке 10 — винтом 31. Пределы показаний по

шкале 40 составляют 0...40 мм, цена деления шкалы 1 мм. Шаг микрометрического винта 14 равен 1 мм, число делений шкалы на нониусном барабане 39 составляет 50, цена деления шкалы барабана равна 0,02 мм.

6. Каретку 10 отводят микрометрическим винтом 14 таким образом, чтобы делительная прямая рейки находилась от оси центров 5 на расстоянии, равном радиусу делительной окружности проверяемого колеса. Поворотом гайки 12 по часовой стрелке дополнительно отвести каретку 10 от оси центров на 3 мм.

7. Проверяемое колесо с закрепленным хомутиком устанавливают в центра, а поводок хомутика — между винтами. Вертикальную каретку с рейкой винтом 8 устанавливают на требуемую высоту и в этом положении закрепляют гайкой 35.

8. Медленно поворачивая гайку 12 против часовой стрелки, осторожно вводят рейку в зацепление с зубьями проверяемого колеса. Каретка 10 стопорится винтом 36. Поводок хомутика зажимают винтами, при этом шкалу индикатора устанавливают на "нуль" (установка индикатора на "нуль" может производиться также поворотом эксцентрика 20).

9. Перемещая продольную каретку маховичком 22, следят за показаниями индикатора. Погрешность колеса определяется как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора за один оборот колеса.

При проверке зубчатых колес с диаметром делительной окружности более 38 мм необходимо произвести пересопряжение рейки. В этом случае начальную настройку производят при вынутом эксцентрике 20, синусная линейка контактирует с пальцем 37. После проверки первой части зубчатого колеса рейка выводится из зацепления, поворотом гайки 12 и при той же настройке переводится в начальное положение.

Устанавливается обратно эксцентрик 20 и осторожно вводится в контакт с синусной линейкой. Гайкой 12 рейка вводится в зацепление с колесом. Поворотом эксцентрика 20 стрелка индикатора устанавливается на том же делении, на котором она остановилась до пересопряжения. Затем, продолжая вращать маховичок, проверяют вторую часть зубчатого колеса. Для контроля второй стороны профилей зубьев колеса поворотом рукоятки 15 переключают рейку в соответствующую сторону.

2.7.6. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Метрологические характеристики прибора для однопрофильного контроля мелко модульных зубчатых колес.
3. Принципиальная схема контроля кинематической погрешности колеса.
4. Порядок и результаты измерения кинематической погрешности зубчатого колеса.
5. Вывод.

2.7.7. Контрольные вопросы

1. Какой принцип и метод работы реализован в схеме измерительного устройства прибора для однопрофильного контроля мелко модульных зубчатых колес?
2. Как осуществляется настройка прибора?
3. Какой вид рабочего эталона используется в приборе?
4. Какие составляющие влияют на точность измерения кинематической погрешности зубчатого колеса?
5. Диапазон модулей проверяемых колес?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника на базе измерительных преобразователей ОБЕН : практикум / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 194 с. — URL: <https://profspo.ru/books/79650> (дата обращения: 24.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. — ISBN 978-5-4487-0402-4. — Текст : электронный.
2. Голуб, О. В. Стандартизация, метрология и сертификация : учебное пособие / О. В. Голуб, И. В. Сурков, В. М. Позняковский. — Саратов : Вузовское образование, 2014. — 334 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/4151.html> (дата обращения: 24.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей — Текст : электронный.
3. Бисерова, В. А. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / В. А. Бисерова, Н. В. Демидова, А. С. Якорева. — Саратов : Научная книга, 2012. — 159 с. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/8207.html> (дата обращения: 24.03.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. — Текст : электронный.
4. Изучение конструкции, методик измерения и поверки средств линейных и угловых измерений. Часть 1 : учеб.-метод. пособие к выполнению лабораторных работ № 1-4 / Севастопольский государственный университет ; сост.: А. П. Васютенко, Л. В. Ефремова, Н. А. Балакина. — Севастополь : СевГУ, 2018. — 56 с. — URL: <https://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/8261>. — Текст : электронный.
5. Изучение конструкции, методик измерения и поверки средств линейных и угловых измерений. Часть 2 : учеб.-метод. пособие к выполнению лабораторных работ / Севастопольский государственный университет ; сост.: А. П. Васютенко, Л. В. Ефремова, Н. А. Балакина. — Севастополь : СевГУ, 2018. — 56 с. — URL: <https://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/8262>. — Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
Российской Федерации**

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

Кафедра «Приборостроение и транспорт»

Лабораторная работа №

Выполнил:
студент группы _____

Проверил:

Севастополь
20__ г.

Для заметок

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

*Учебно-методическое пособие
к выполнению лабораторных работ*

Составители: **Васютенко** Александр Павлович,
Балакина Наталья Анатольевна

В авторской редакции

Изд. № 41/2025. Объем 5,75 п.л. Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 5,635.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»