

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. Б. Перетятко

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по лабораторным работам
для студентов бакалавриата по направлениям подготовки
15.03.01 Машиностроение, 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГТУ» Б. П. Борисов
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГТУ» И. Т. Сычев

Перетятко, С. Б.

Технические измерения: учеб.-методич. пособие по лабораторным работам для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение, 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника / С. Б. Перетятко. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 76 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по проведению цикла лабораторных работ по дисциплине «Технические измерения» студентами, обучающимися по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника. Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения навыков использования средств измерения. Учебно-методическое пособие содержит общие требования к выполнению лабораторных работ и их оформлению.

Рис. 50, табл. 29, список лит. – 22 наименования

Учебное пособие рассмотрено и одобрено кафедрой инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 21 апреля 2022 г., протокол № 3

Учебное пособие рекомендовано к изданию методической комиссией Института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 сентября 2022 г., протокол № 10

УДК 621

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Перетятко С. Б., 2022 г.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Технические измерения» студентами, обучающимися по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, сопровождается проведением лабораторного практикума.

Целью освоения дисциплины «Технические измерения» является формирование знаний о методах, средствах и принципах измерений линейно-угловых и других величин. Задачи изучения дисциплины «Технические измерения»:

- освоение основных положений теории измерений;
- освоение методов измерений, правил выбора средств для контроля и измерений, обработки и представления результатов измерений;
- освоение теории погрешностей;
- формирование навыков проведения анализа причин нарушений технологических процессов и разработки мероприятий по их предупреждению.

Целью лабораторного практикума является познание физической сущности процессов измерения, методов и средств обеспечения их единства и факторов, влияющих на точность измерений. Задачи лабораторного практикума: глубокое усвоение лекционного курса, развитие навыков самостоятельного научного исследования, а также овладение методикой измерений и обработки экспериментальных данных.

Лабораторные занятия способствуют получению умений и навыков для использования их в дальнейшей профессиональной деятельности. После изучения курса и выполнения лабораторных работ студент должен:

уметь:

- пользоваться нормативной документацией и соблюдать действующие нормы, правила и стандарты;
- решать задачи по выбору средств измерения;
- пользоваться универсальными средствами измерений;
- организовать и провести технические измерения, провести обработку и правильно представить результаты измерений;

владеть:

- навыками выполнения и чтения чертежей деталей узлов машин и сборочных чертежей;
- методами измерений и контроля геометрических параметров деталей машин;
- навыками проведения технических измерений универсальными средствами измерений и представления результатов измерений.

Методические указания к каждой лабораторной работе включают теоретические сведения о данном процессе, описание лабораторной установки, указания по организации работы, по технике измерений и форме записи результатов измерений. Приведены методика обработки полученных данных, порядок

оформления работы и ее защиты. Прежде чем приступить к выполнению работы, студенты должны изучить методические указания к ней, ознакомиться со схемой установки, подготовить форму для записи результатов измерений, ответить на контрольные вопросы и затем начинать ее проведение.

При составлении данного учебно-методического пособия использовались материалы:

- Правдин, Ю. Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / Ю. Ф. Правдин. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. –189 с.

- Правдин, Ю. Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб.-метод. пособие / Ю. Ф. Правдин. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 111 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Лабораторный практикум охватывает основные разделы курса и включает шесть работ. На выполнение каждой работы требуется 2–3 ч.

Настоящий практикум позволяет выполнить лабораторные работы и без предварительного прослушивания лекций. С этой целью перед каждой работой, посвященной изучению определенного процесса, дается теоретический материал, в котором поясняются сущность и области применения процесса, а также излагаются основные теоретические положения и основы расчета, необходимые для выполнения работы.

Каждая лабораторная работа описана по единому плану: теоретическая часть, цель работы, задачи, план проведения занятия, оборудование, инструменты, приспособления, порядок проведения работы и алгоритм выполняемых расчетов, контрольные вопросы. Для записи экспериментальных и расчетных данных приводятся формы протоколов испытаний. В конце каждой работы даны контрольные вопросы для самоконтроля и закрепления изучаемого материала.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Студент в результате подготовки к выполнению работы должен усвоить назначение, сущность и особенности изучаемого процесса измерения; цель работы; физический смысл процесса измерения конкретным средством измерения; методику выполнения работы.

По схеме в практикуме студент должен разобраться в устройстве и работе средства измерения, в назначении отдельных его элементов, выяснить назначение, принцип работы и порядок проведения измерений.

Перед началом работы каждый студент подвергается опросу преподавателем для выяснения степени его теоретической подготовки. Студенты, допущенные к работе, приступают к ее выполнению в соответствии с методикой, изложенной в практикуме.

Замеры всех необходимых параметров (величин) каждый студент в процессе работы записывает в подготовленный протокол. Со всеми вопросами, возникающими в процессе работы, студент должен сразу же обращаться к преподавателю.

Отчет по выполненной работе должен содержать: цель работы, задачи, схему установки и краткое описание ее работы, физический смысл определяемых величин, расчеты, необходимые графики, диаграммы, таблицы, схемы, анализ полученных данных, выводы по результатам работы.

Без сдачи оформленного отчета по выполненной работе студент не допускается к выполнению очередной работы.

Каждую лабораторную работу (по мере выполнения) студент защищает в течение семестра, а в конце семестра при успешной защите всех работ получает зачет по лабораторному практикуму.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При работе в лаборатории необходимо строго соблюдать правила охраны труда и техники безопасности. Без инструктажа по технике безопасности и проверки знаний студенты к выполнению работы не допускаются.

Общие требования техники безопасности. Выполнение лабораторных работ, проводятся только в присутствии преподавателя или заведующего лабораторией. Работа с включенными приборами и аппаратами, одного человека в помещении лаборатории запрещается. Студенты должны помнить, что в лаборатории можно столкнуться со следующими опасностями: электрическим током, статическим электричеством, падением тяжелого предмета и др.

Требования безопасности перед началом работы. Перед проведением лабораторных работ преподаватель проверяет наличие заземления измерительных приборов и установок. Студенты могут приступать к выполнению работ только с разрешения преподавателя. Перед началом работ необходимо проверить инструмент, который должен всегда находиться в исправном состоянии.

Требования безопасности во время работы. Не оставлять рабочее место без разрешения преподавателя. Размещать приборы, оборудование таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание. При проведении работ не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.

Требования безопасности в аварийных ситуациях. При обнаружении неисправности электроинструмента, перерыва в подаче электроэнергии и других непредвиденных обстоятельствах, выключить все электроприборы. В случае поражения электрическим током необходимо: отключить оборудование лаборатории от питания общим рубильником, оказать доврачебную медицинскую помощь пострадавшему, вызвать врача для оказания медицинской помощи.

В случае возникновения пожара: произвести отключение питания лаборатории, вызвать пожарную охрану по телефону 01; с сотового телефона 112. При тушении пожара применять только углекислотные огнетушители.

Требования безопасности по окончании работы. По окончании работы выключить все измерительные приборы и устройства. Рабочее место сдать преподавателю. Обо всех нарушениях в работе устройств сообщить преподавателю.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ, СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЯ, ПОГРЕШНОСТЯХ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется *метрологией*.

Основные термины и определения понятий в области метрологии установлены рекомендациями РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения [1]. Дата введения данных рекомендаций 1 января 2015 г.

Главное понятие метрологии – *измерение*. Измерение (величины) – это процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть ей обоснованно приписаны. 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 их условий.

Вместе с термином «измерение», а иногда и вместо него применяют термин «контроль». Контроль – разновидность измерения, когда в результате процесса сравнения (измерения) устанавливают соответствие объекта измерения (контроля) заданным предельным значениям физических величин. ГОСТ 16504 [2] определяет термин «контроль» как проверку соответствия объекта установленным техническим требованиям. В результате контроля в большинстве случаев выдаётся информация о годности или негодности измеренного объекта, а не значение физической величины. Термин «контроль» следует применять при использовании калибров, при необходимости разделения контролируемых деталей на размерные группы и др.

Измеряемая величина – это величина, подлежащая измерению. *Объект измерения* – материальный объект или явление, характеризующиеся одной или несколькими измеряемыми и влияющими величинами. Примеры объекта измерения – вал, у которого измеряют диаметр; технологический процесс, во время которого измеряют температуру.

Единство измерений (ЕИ) – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Методика (выполнения) измерений – установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений. Обычно она регламентируется каким-либо нормативным документом.

Результат (измерения величины) – множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существенной информацией. Определение понятия результата измерения претерпело существенное изменение по сравнению с определением РМГ 29–99 [3] и вошло в себя выражение точности измерения. Информация, приводимая в результате измерения, определяется особенностями конкретного измерения и соответствует требованиям, предъявляемым к нему измерению.

В большинстве случаев информация относится к точности измерения и выражается показателями точности, в обоснованных случаях содержит указание методики измерений и др. Результат измерения может быть представлен измеренным значением величины с указанием соответствующего показателя

точности. К ним относятся, например, среднее квадратическое отклонение, доверительные границы погрешности, стандартная неопределенность измерений, суммарная стандартная и расширенная неопределенности.

Если значение показателя точности измерений можно считать пренебрежимо малым для заданной цели измерения, то результат измерения будет выражаться как одно измеренное значение величины. Во многих областях это является обычным способом выражения результата измерения, с указанием класса точности применяемого средства измерений.

По ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 [4] результат измерений – значение характеристики, полученное выполнением регламентированного метода измерений.

Измеренное значение (величины) – значение величины, которое представляет результат измерения. Для измерения, в котором имеют место повторные показания, каждое из них может использоваться, чтобы получить соответствующее измеренное значение величины.

Среднее квадратическое отклонение, стандартное отклонение – параметр функции распределения измеренных значений или показаний, характеризующий их рассеивание и равный положительному корню квадратному из дисперсии того распределения. Оценкой среднего квадратического отклонения является *выборочное стандартное отклонение*, определяемое по формуле (1):

$$S(x) = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}}{n-1}, \quad (1)$$

где x_k – k -е измеренное значение или показание в ряду из значений; \bar{x} – среднее арифметическое из измеренных значений или показаний.

Измерительная информация – информация о значении величины, входящей в модель измерений.

Величина – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. В качестве основы для сравнения может выступать единица измерения, методика измерения, стандартный образец или их комбинации.

Размер величины – количественная определенность величины, присущая конкретному материальному объекту или явлению. Например, разные вещества обладают той или иной плотностью, но каждое из них имеет вполне определенное значение: у алюминия плотность равна $2,6989 \text{ т/м}^3$, а железа $7,874 \text{ т/м}^3$.

Следовательно, одна и та же физическая величина как вполне определенная характеристика будет при равных единицах измерения для разных веществ отличаться размером.

Значение величины – выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений. В зависимости от основы для сравнения значение величины может быть

выражено: числом и единицей измерения, числом и указанием методики измерений, числом и указанием стандартного образца.

Числовое значение (величины) – отвлеченное число, входящее в значение величины.

Опорное значение (величины) – используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода. Опорное значение может быть истинным значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно. Опорное значение величины со связанной с ним неопределенностью (погрешностью) измерений обычно приводят для:

- материала, например, аттестованного стандартного образца;
- устройства, например, стабилизированного лазера;
- референтной методики измерений;
- сличения эталонов.

Погрешность (результата измерения) – разность между измеренным и опорным значением величины. Если опорное значение известно, как, например, при калибровке средств измерений, то известно и значение погрешности измерения. Если в качестве опорного значения выступает истинное значение величины, то значение погрешности неизвестно. Погрешность измерения равна сумме случайной и систематической погрешностей.

Максимальная допускаемая погрешность (измерения) – максимальное значение погрешности измерения (без учета знака), разрешенное спецификацией или нормативными документами для данного измерения. Погрешность измерений представляет собой сумму *целого ряда составляющих*: систематическая, случайная, инструментальная, грубая, погрешность метода и т.д.

Систематическая погрешность (измерения) – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность (измерения) – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях.

Погрешность метода (измерений) – составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Инструментальная погрешность (измерения) – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Грубая погрешность (промахи) – согласно ГОСТ Р8.736-2011 [5] это погрешность измерения, существенно превышающая зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешностей.

Погрешности могут быть абсолютными или относительными.

Абсолютная погрешность (измерения) – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность (измерения) – погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой 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. Высокая точность измерений соответствует малым величинам погрешностей измерения.

По ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002, точность – степень близости результата измерений к принятому опорному значению.

Действительное значение (величины) – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

В 2002 г. в России введены в действие государственные стандарт 2002 части 1–6 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений», которые являются прямым применением шести частей основополагающего Международного стандарта ИСО 5725. Эти стандарты используются в практической деятельности при разработке, аттестации и применении методик выполнения измерений, стандартизации методик контроля (испытаний, измерений, анализа), испытаниях продукции, в том числе для целей подтверждения соответствия, оценки компетентности испытательных лабораторий согласно требованиям ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2009 [6].

Стандарты ИСО 5725 могут применяться для оценки точности выполнения измерений различных величин. В этом стандарте вместо термина «действительное значение» введен термин «принятое опорное значение», который рекомендуется для использования в практике.

По ГОСТ Р ИСО 5727 [7], *принятое опорное значение* – значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения и получено как:

- a) теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах;
- b) приписанное или аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации;
- c) согласованное или аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы;
- d) математическое ожидание измеряемой характеристики, т. е. среднее значение заданной совокупности результатов измерений, лишь в случае, когда a), b) и c) недоступны (ИСО 3534-1 [8]).

В отечественной метрологии погрешность результатов измерений, как правило, определяется сравнением результата измерений с истинным или действительным значением измеряемой физической величины (являющимися фактически эталонными значениями измеряемых величин, выраженными в узаконенных единицах).

Технические измерения – это измерения при помощи рабочих средств измерений. Они удовлетворяют требованиям единства измерений, т. е. результат бывает получен с известной погрешностью и вероятностью, записывается в установленных единицах физических величин с определенным количеством

значащих цифр (URL: <http://intuit.ru>). Выполняются при помощи средств измерений с назначенным классом точности, прошедших поверку или калибровку в метрологической службе. Средство измерений, прошедшее калибровку или поверку, называют рабочим средством измерений.

Средства измерительной техники – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. К средствам измерительной техники относят средства измерений, эталоны, измерительные системы, установки, принадлежности, средства сравнения, стандартные образцы и др.

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики. Есть еще одно определение средства измерений – техническое средство, предназначенное для измерений (определение по 102-ФЗ от 26.06.2008 г.).

Универсальными называют средства измерения, предназначенные для измерения линейных или угловых размеров в определённом диапазоне вне зависимости от конфигурации измеряемого объекта.

Специальные средства измерений предназначены для измерения деталей определённой конфигурации и (или) для измерения определённого геометрического параметра детали.

Метрологические свойства СИ – это свойства, влияющие на результат измерений и его погрешность. Показатели метрологических свойств являются их количественной характеристикой и называются *метрологическими характеристиками*.

Метрологическая характеристика (средства измерений) (МХ) – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений. Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики.

Нормируемые метрологические характеристики (типа средства измерений) (НМХ) – совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными документами на средства измерений.

К ним относятся:

Точность (средства измерений) – качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешности. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Класс точности – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений. Класс точности обычно обозначается числом или символом, принятым по соглашению. Класс точности дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей или инструментальных неопределенностей средств измерений данного типа при выполнении измерений. Класс точности применяется и к материальным мерам.

Погрешность средства измерений – разность между показанием средства измерений и известным опорным (действительным) значением величины.

Предел допускаемой погрешности (средства измерений): Наибольшее значение погрешности средства измерений (без учета знака), устанавливаемое нормативным документом для данного типа средств измерений, при котором оно еще признается метрологически исправным.

Обычно устанавливают пределы допускаемой погрешности, т. е. нижнюю и верхнюю границы интервала, за которые не должна выходить погрешность.

Систематическая погрешность средства измерений – составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

Шкала средства измерений (рис. 2), шкала (измерительного прибора) – часть средства измерений, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со значениями соответствующей величины:

- *отметка шкалы* – знак на шкале, соответствующий некоторому значению измеряемой величины;

- *цена деления (шкалы)* – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений;

- *длина шкалы* – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений и ограниченной начальной и конечной метками. Линия может быть реальной или воображаемой, кривой или прямой. Длина шкалы выражается в единицах длины независимо от единиц, указанных на шкале *длина деления шкалы* – расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы;

- *показание* – значение величины, формируемое средством измерений или измерительной системой. Показание часто представляется в виде позиции указателя на дисплее для аналоговых выходов, отображенного или напечатанного числа для цифровых выходов, кодовой комбинации для кодовых выходных сигналов или приписанного значения величины для материальных мер. Показание и соответствующее значение измеряемой величины не обязательно являются значениями величин одного рода;

- *диапазон показаний* – область значений шкалы измерительного прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Диапазон измерений; рабочий диапазон – 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.

Нормальные условия (измерений) – условия измерений, предписанные для оценивания характеристик средства измерений или измерительной системы, или для сравнения результатов измерений. Нормальные условия измерений характеризуются нормальной областью значений влияющих величин. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа или при их поверке (калибровке). Погрешность средства измерений в нормальных условиях называют основной погрешностью средства измерений.

Рабочие СИ (РСИ) – это средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

Нониусные средства измерения

Общие сведения о нониусных средствах измерения

К нониусным средствам измерений относятся штангенциркули рис. 1, штангенрейсмасы, штангенглубиномеры и штангензубомеры (последние относятся к зубоизмерительным инструментам) и угломеры с нониусом. Они предназначены для измерений методом непосредственного отсчёта, а также для разметки изделий (некоторые типы).



Рис. 1. Штангенциркуль нониусный

Отличительным признаком нониусных средств измерения является наличие у них двух штриховых шкал: основной и дополнительной, которую называют нониусом (рис. 2).

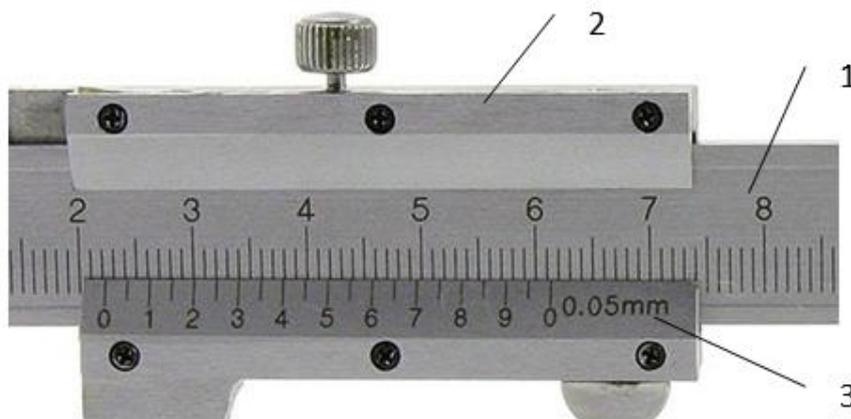


Рис. 2. Измерение по нониусу:

1 – штанга со шкалой; 2 – подвижная рамка; 3 – нониус

Основная шкала на штанге 1 служит для отсчёта по ней целых миллиметров, а дополнительная шкала 3 (нониус) - для повышения точности отсчёта по основной шкале. Первый штрих нониуса является началом его шкалы и одновременно указателем значения размера на основной шкале. Этот штрих называют нулевым штрихом. Если он совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, то отсчитывают целое значение размера только по основной шкале (см. рис. 3, а). Если нулевой штрих нониуса не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отсчёт будет состоять из двух частей. Первая часть состоит из целого значения размера, кратного 1 мм, которое отсчитывают по основной шкале как ближайшее меньшее значение слева от нулевого штриха нониуса. Вторая часть содержит десятые и сотые доли миллиметра, которые отсчитывают по шкале нониуса.

Для этого определяют, какой штрих нониуса совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, и считывают десятые и сотые доли миллиметра (см. рис. 3, б).

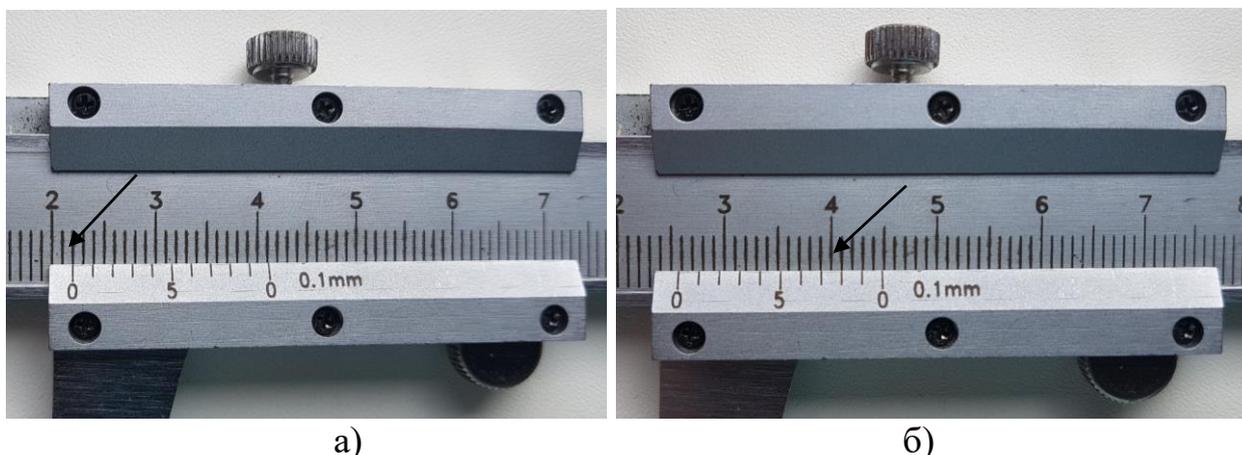


Рис. 3. Отсчет по нониусной шкале: а) 22 мм, б) 25,8 мм

Из-за того, что штрихи на нониусной шкале находятся на расстоянии от штрихов основной шкалы, при проверке совпадения линий нониусной и основной шкал необходимо смотреть на линию нониусной шкалы прямо сверху. Если смотреть на нониусную шкалу под углом, то фактическое совпадение шкал не наблюдаются, штрихи визуальнo сдвигаются в сторону – это явление называется параллаксом и это приводит к ошибке при считывании значения (рис. 4).

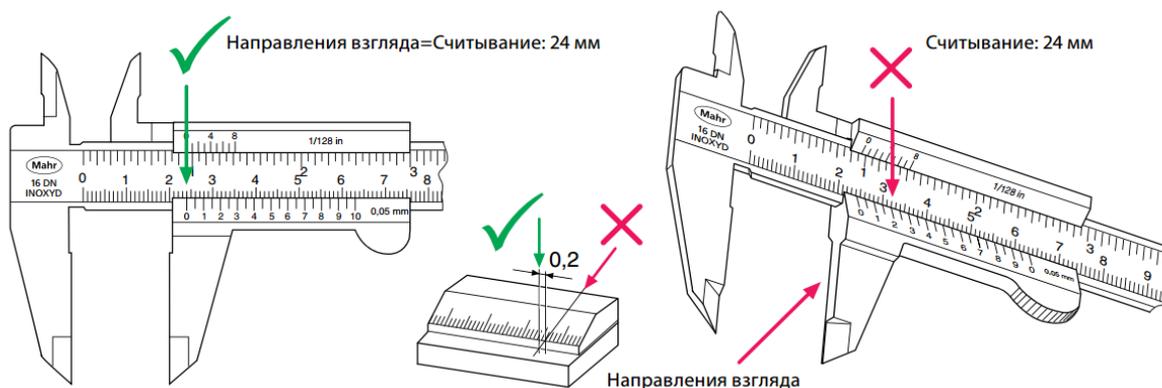


Рис. 4. Ошибка параллакса при считывании показаний шкал

Для уменьшения погрешности отсчёта, связанной с параллаксом, стандартом установлены требования расположения шкалы нониуса относительно плоскости шкалы штанги (рис. 5).

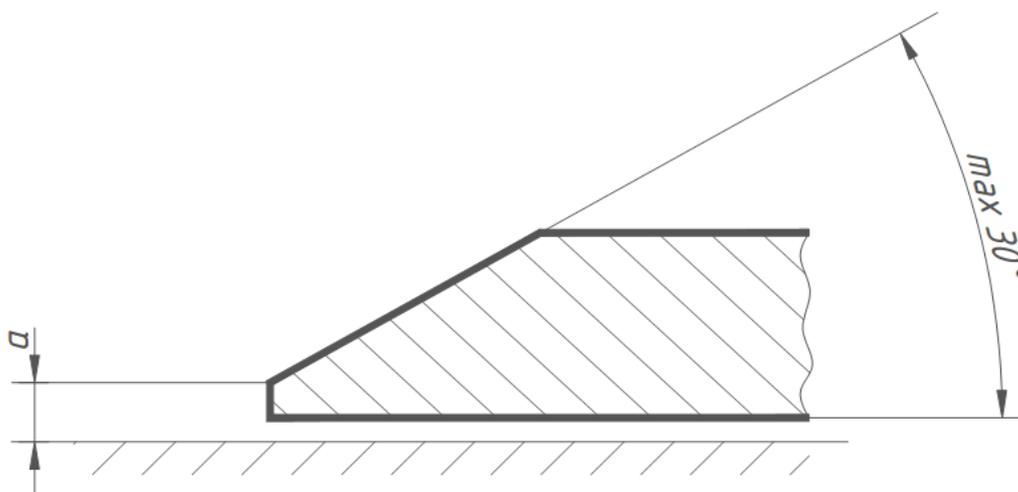


Рис. 5. Расположение плоскости шкалы нониуса относительно плоскости шкалы штанги

Расстояние a от верхней кромки края нониуса до поверхности шкалы штанги не должно превышать 0,25 мм для штангенциркулей со значением отсчетов 0,05 – для штангенциркулей со значением отсчета 0,1 мм.

Штангенциркуль

Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних линейных размеров и для разметки деталей. При измерении штангенциркулями осуществляются прямые и абсолютные контактные измерения с использованием метода непосредственной оценки значения измеряемой величины. Результат измерения определяется по шкалам (основной и нониуса).

Штангенциркули с нониусом изготавливают четырех типов по ГОСТ 166 [9]:

- **ШЦ-I** — с двухсторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин и высот (рис. 6);

- **ШЦТ-1** — с односторонним расположением губок, оснащённых твёрдым сплавом, для наружных измерений и с линейкой для измерения глубин (рис. 7). Штангенциркуль ШЦТ-1, отличается от ШЦ-1 оснащением твёрдым сплавом губок для наружных измерений и отсутствием губок для внутренних измерений.

- **ШЦ-II** с двухсторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и для разметки (рис. 8);

- **ШЦ-III** — с односторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений (рис. 9).

При измерении внутренних размеров штангенциркулями ШЦ – II и ШЦ – III следует к отсчёту по шкалам прибавлять значение суммарной толщины губок, которое обычно равно 10 мм. Этот размер указывается на одной из губок.

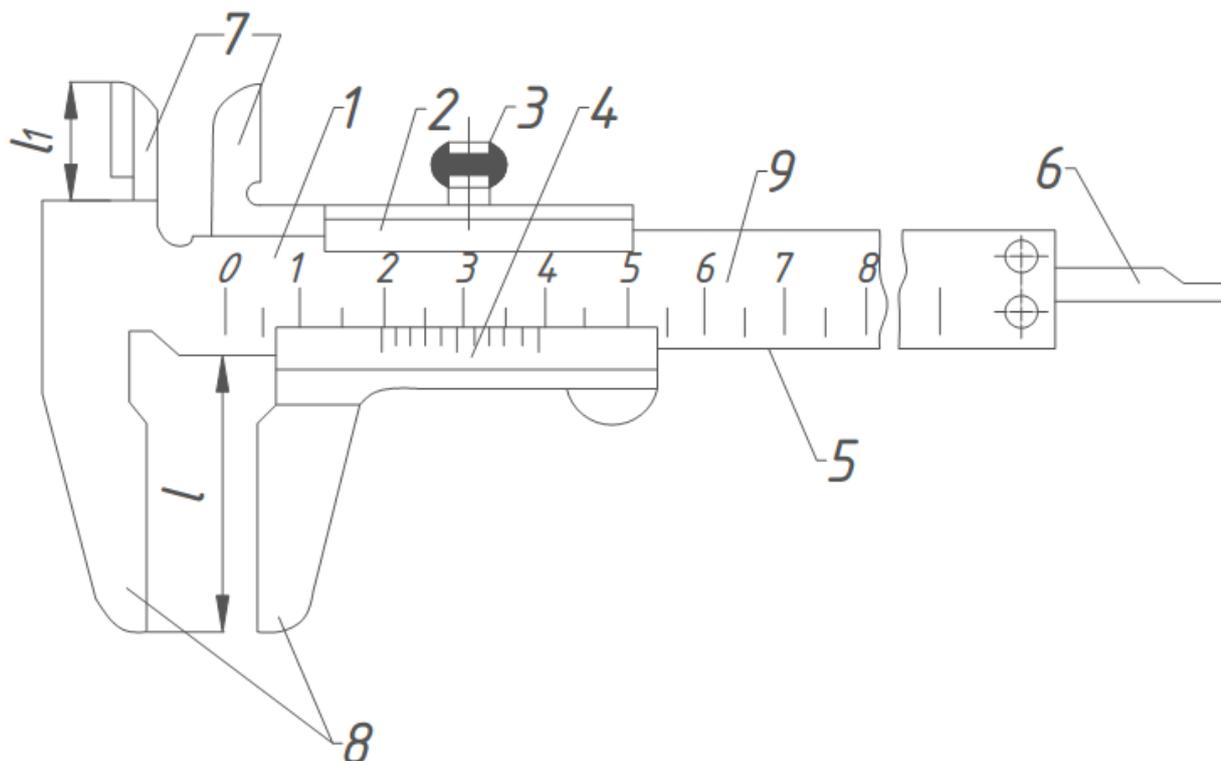


Рис. 6. Штангенциркули ШЦ–1:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – глубиномер; 7 – губки с кромочными измерительными поверхностями для измерения внутренних размеров; 8 – губки с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 9 – шкала штанги

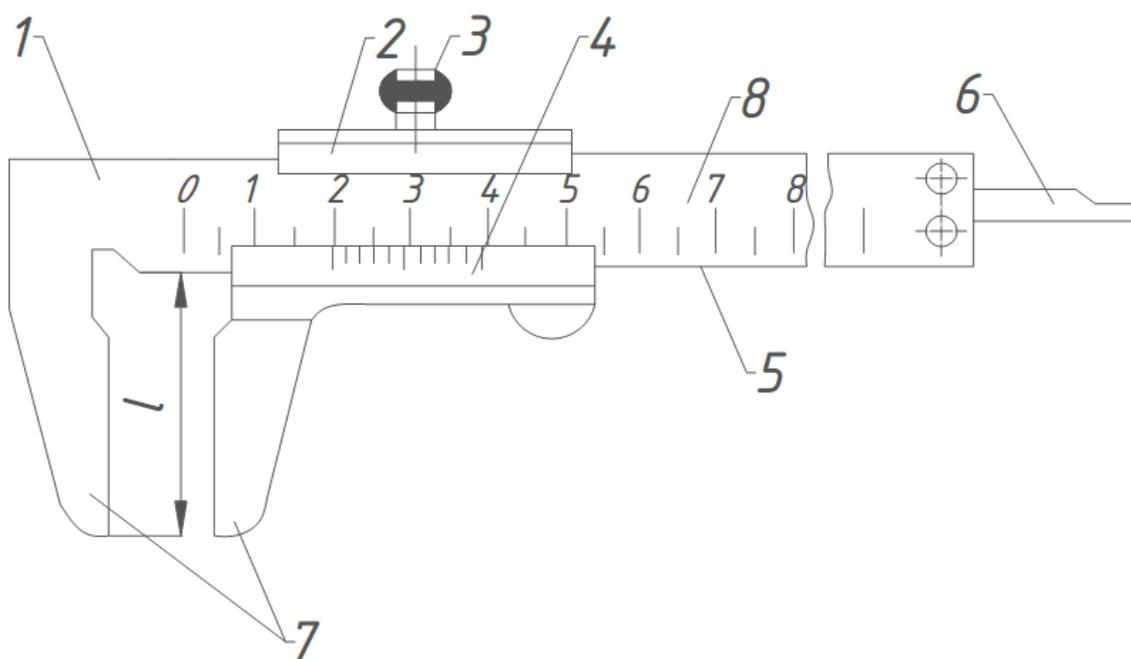


Рис. 7. Штангенциркули ШЦТ-1:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – глубиномер; 7 – губки с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 8 – шкала штанги

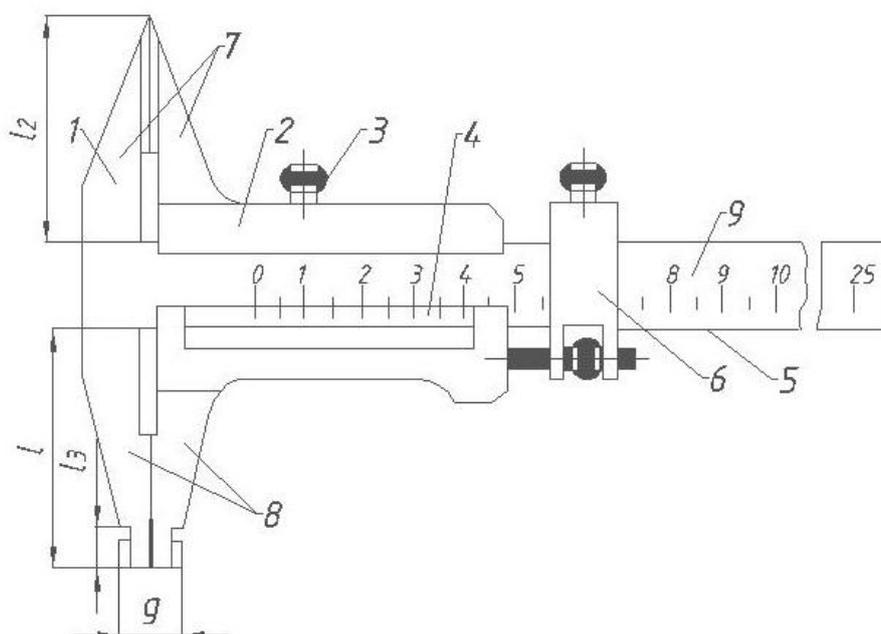


Рис. 8. Штангенциркуль типа ШЦ-II:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – устройство тонкой установки рамки; 7 – губки с кромочными измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 8 – губки с плоскими и цилиндрическими измерительными поверхностями для измерения наружных и внутренних размеров соответственно; 9 – шкала штанги

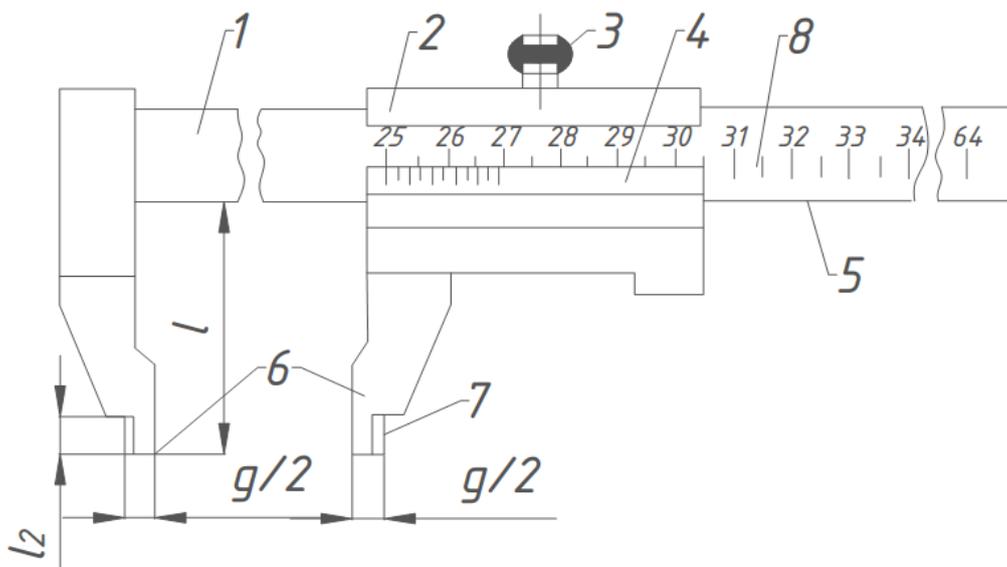


Рис. 9. Штангенциркуль типа ШЦ–Ш:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – губки с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 7 – губки с цилиндрическими измерительными поверхностями для измерения внутренних размеров; 8 – шкала штанги

Пример условного обозначения нониусного штангенциркуля типа II с диапазоном измерения 0 –250 мм и значением отсчёта по нониусу 0,05 мм:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166

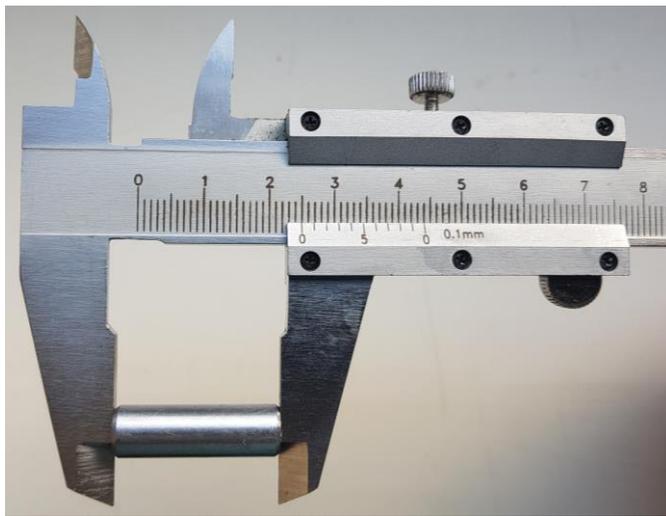
То же для штангенциркуля типа II с диапазоном измерения 250 –630 мм и значением отсчёта по нониусу 0,1 мм, класса точности 1:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-630-0,1-1 ГОСТ 166

До начала измерений следует проверить нулевую установку штангенциркуля. Для этого сдвигают его измерительные губки до соприкосновения друг с другом. При этом должны совпадать нулевой и конечный штрихи шкалы нониуса со штрихами основной шкалы (шкалы штанги).

Измерение нониусным штангенциркулем наружной поверхности детали необходимо проводить в следующем порядке. Поместить деталь между губками штангенциркуля (рис. 10, а), прижать неподвижную губку к ее поверхности и, перемещая рамку, приблизить к детали подвижную губку. При этом обе губки должны плотно прилегать к измеряемой детали, а при перемещении штангенциркуля должно ощущаться лёгкое трение. Деталь не должна висеть на штангенциркуле. При измерении необходимо следить за правильной установкой губок штангенциркуля (без перекосов).

Отсчитать показания по основной шкале и нониусу. Точность отсчёта должна соответствовать цене деления нониуса штангенциркуля.



а)



б)

Рис. 10. Измерение штангенциркулем наружного а) и внутреннего б) размеров детали

При измерении штангенциркулем размера отверстия детали (рис. 10, б) в него вводят губки для внутренних измерений, неподвижную губку прижимают к поверхности отверстия, а подвижную перемещают с помощью рамки до соприкосновения с противоположной стороной. Дальнейший порядок такой же, как при измерении наружной поверхности.

Таблица 1

Диапазон измерения штангенциркуля, мм	Значение отсчёта по нониусу, мм
0–125	0,05; 0,1
0–135	
0–150	
0–160	
0–200	
0–250	
0–300	
0–400	
0–500	

Диапазон измерений, значение отсчёта по нониусу, цена деления круговой шкалы и шаг дискретности цифрового отсчётного устройства штангенциркулей должны соответствовать указанным в ГОСТ 166 (табл. 1).

Штангенглубиномер

Штангенглубиномеры применяют для прямого измерения высот деталей, уступов, глубин отверстий и пазов. Конструкция штангенглубиномера отличается от штангенциркуля отсутствием подвижной губки, а вместо неё сделана траверса, являющаяся основанием (опорой) при измерениях (рис. 11). Осталь-

ные элементы конструкции и методика отсчёта результата измерения аналогичны таковым штангенциркуля.

Штангенглубиномеры по ГОСТ 162 [10] должны изготавливаться следующих типов: ШГ – с отсчётом по нониусу (рис. 11), ШГК – с отсчётным устройством с круговой шкалой, ШГЦ – с электронным цифровым отсчётным устройством.



Рис. 11. Штангенглубиномер нониусный

Диапазон измерений, значение отсчёта по нониусу, цена деления круговой шкалы, шаг дискретности цифрового отсчётного устройства и длина измерительной поверхности рамки должны соответствовать указанным в ГОСТ 162 (табл. 2)

Пример условного обозначения штангенглубиномера типа ШГ с диапазоном измерения 0–630 мм и значением отсчёта (ценой деления) по нониусу 0,05 мм:

Штангенглубиномер ШГ–630–0,05 ГОСТ 162

Таблица 2

Диапазон измерения штангенглубиномера, мм	Значение отсчёта по нониусу, мм
0–160	0,05; 0,1
0–200	
0–250	
0–300	
0–400	
0–630	
0–1000	

При измерении размера штангенглубиномером (рис. 12). Основание 1 плотно прижимают к торцу детали 4 и продвигают штангу 2 вручную к поверхности 3. Затем, закрепив устройство 5 микрометрической подачи штанги стопором 6 с помощью гайки 7, подводят штангу до упора с поверхностью 3, прижимая при этом основание 1 к торцу детали. Закрепить штангу стопором 8 и

снять отсчёт по шкалам. Точность отсчёта должна соответствовать цене деления нониуса.

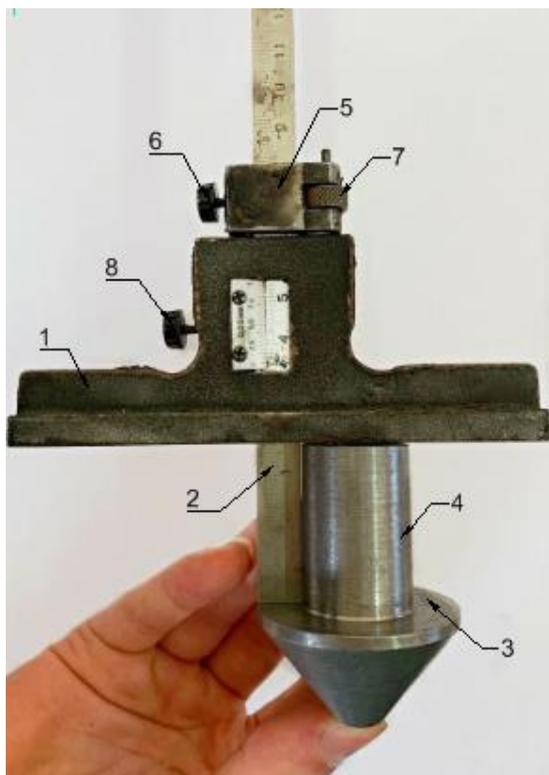


Рис. 12. Схема измерения Штангенглубиномером:
1 – основание; 2 – штанга; 3 – поверхность, до которой надо измерить размер от торца детали; 4 – деталь; 5 – устройство микрометрической подачи; 6, 8 – стопоры; 7 – гайка

Угломер

Угломером называется накладное техническое средство для измерения углов.

Отсчёт значения угла производится с помощью нониуса аналогично штангенциркулю. Цена деления нониуса угломеров – 2', 5' и 10'. Типы и основные параметры угломеров должны соответствовать указанным в ГОСТ 5378 [11] (табл. 3).

Таблица 3

Тип угломера	Значение отсчёта по нониусу	Предел измерений	
		наружных углов	внутренних углов
1	2' и 5'	От 0° до 180°	-
2	2'	От 0° до 360°	От 40° до 180°
3	5' и 10'	От 0° до 360°	-
4	10'	От 0° до 180°	-

Пример условного обозначения угломера типа 1 со значением отсчёта по нониусу 2':

Угломер типа 1-2 ГОСТ 5378-88

На рис. 13 показан угломер типа 1 с ценой деления нониуса $5'$. Угломеры этого типа называют транспортирными. Он состоит из основания 1 с нанесённой на нём шкалой 2. Шкала имеет цену деления 1° и диапазон показаний 90° .

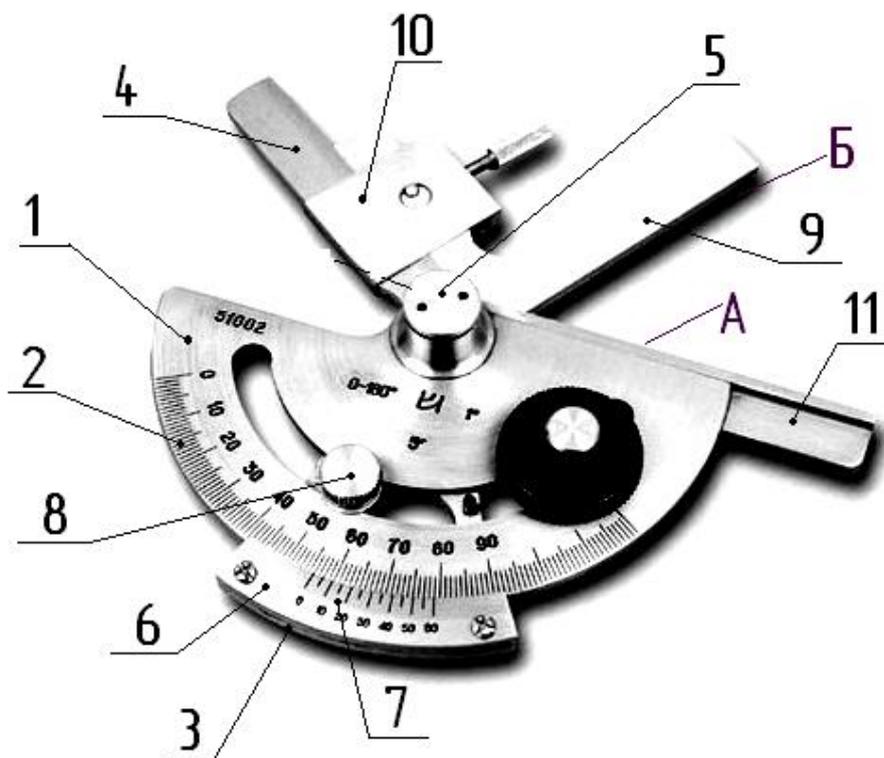


Рис. 13. Угломер типа 1:

1 – основание; 2 – шкала; 3 – сектор; 4 – линейка поворотная; 5 – ось поворота сектора с линейкой; 6 – нониус; 7 – шкала нониуса; 8 – стопор; 9 – угольник; 10 – державка; 11 – линейка неподвижная

На основании закреплена неподвижная линейка 11, нижняя сторона А которой является первой измерительной поверхностью. Второй измерительной поверхностью являются нижняя сторона Б поворотной линейки 4 или стороны угольника 9 в зависимости от величины измеряемого угла.

Угломер типа 2 (универсальный), показанный на рис. 14, состоит из основания 1, на котором нанесена круговая шкала. По основанию перемещается сектор 2 с закреплённым на нём винтами 4 нониусом 3. К основанию 1 крепится линейка 5, которая имеет измерительную поверхность А. Вторая измерительная поверхность в зависимости от величины измеряемого угла образуется поверхностью сектора 2 или съёмными линейкой 7 и угольником 9. Линейка и угольник закрепляются на угломере державками 8 и 10. Винт микрометрической подачи сектора расположен с обратной стороны основания 1.

В зависимости от диапазона измеряемых углов компоновки угломеров представлены на рис. 15. Для измерения углов в диапазоне от 0 до 50° в комплектации должны быть угольник и сменная линейка, в диапазоне от 50 до 140° устанавливается одна сменная линейка, для измерения в диапазоне от 140 до 230° необходимо установить один угольник, при измерении углов от 230 до 320° остаётся только основание с сектором.

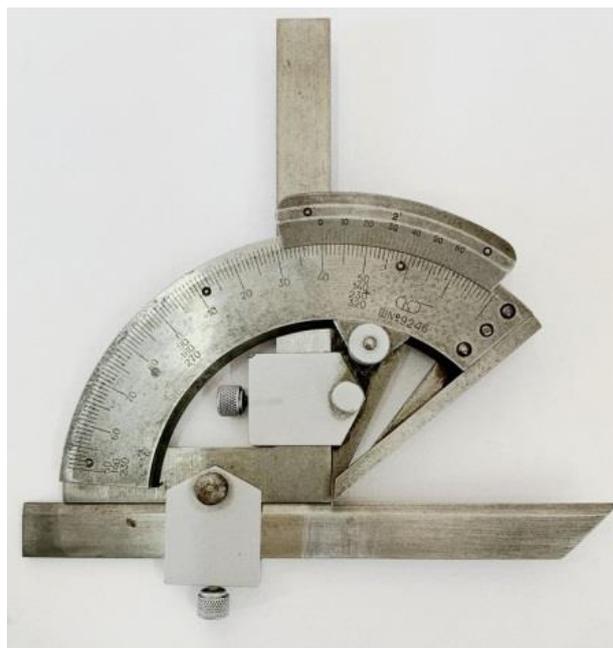
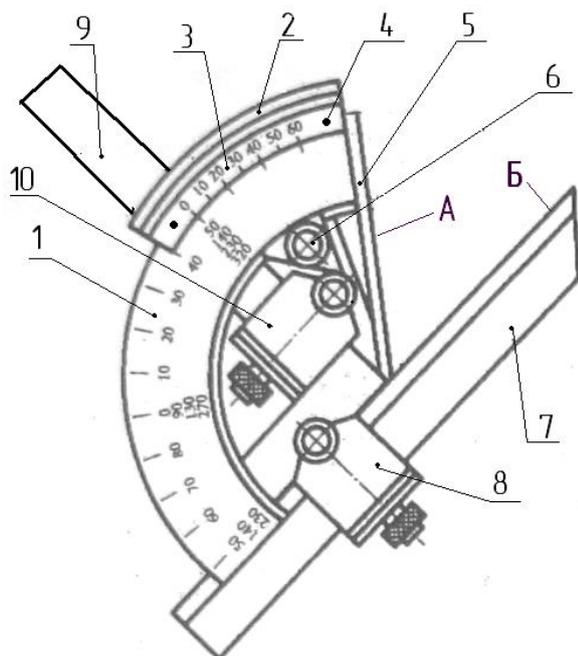


Рис. 14. Угломер (тип 2):

- 1 – основание; 2 – сектор; 3 – нониус; 4 – винт крепления нониуса; 5 – линейка постоянная; 6 – стопор сектора; 7 – линейка сменная; 8, 10 – державки; 9 – угольник сменный

Угломер типа 4 показан на рис. 16. Им можно измерять наружные углы в диапазонах от 0 до 90° и от 90 до 180°. Измерительными поверхностями являются обе стороны поворотной линейки 2 и нижние поверхности А и Б основания 1. На поворотной линейке 2 закреплён нониус 3. По сравнению с угломером типа 1 он не требует дополнительных элементов и наладки при измерении углов в разных диапазонах.

До начала измерений проверить настройку угломера на ноль. Для этого следует собрать угломер в комплектации для измерения углов в диапазоне от 0 до 90° (рис. 15, а), протереть измерительные поверхности линеек 5 и 7 и, вращая вручную сектор 2 (рис. 14), ввести их в соприкосновение. Между ними не должно быть зазора. Нулевой штрих шкалы нониуса 3 должен совпадать с нулевым штрихом круговой шкалы основания 1. Если штрихи не совпадают, таким средством измерения пользоваться нельзя.

Измерение угла производить следующим образом:

- а) собрать угломер в требуемой комплектации в зависимости от предполагаемого значения угла (рис. 15);
- б) держа правой рукой основание 1, прижать линейку 2 (рис. 17) к образующей конуса;
- в) вращая вручную сектор 3, привести в соприкосновение с противоположной образующей конуса линейку 4 или угольник (в зависимости от комплектации);
- г) для более точной регулировки положения линеек следует использовать микрометрическую подачу. Маховичок подачи расположен с обратной стороны на

секторе 3. Необходимо следить за относительным положением линеек и детали. Линейки должны лежать на противоположных образующих конуса без зазоров;

д) снять угломер с детали и произвести отсчёт по шкалам основания и нониуса. Точность отсчёта должна соответствовать цене деления нониуса угломера.

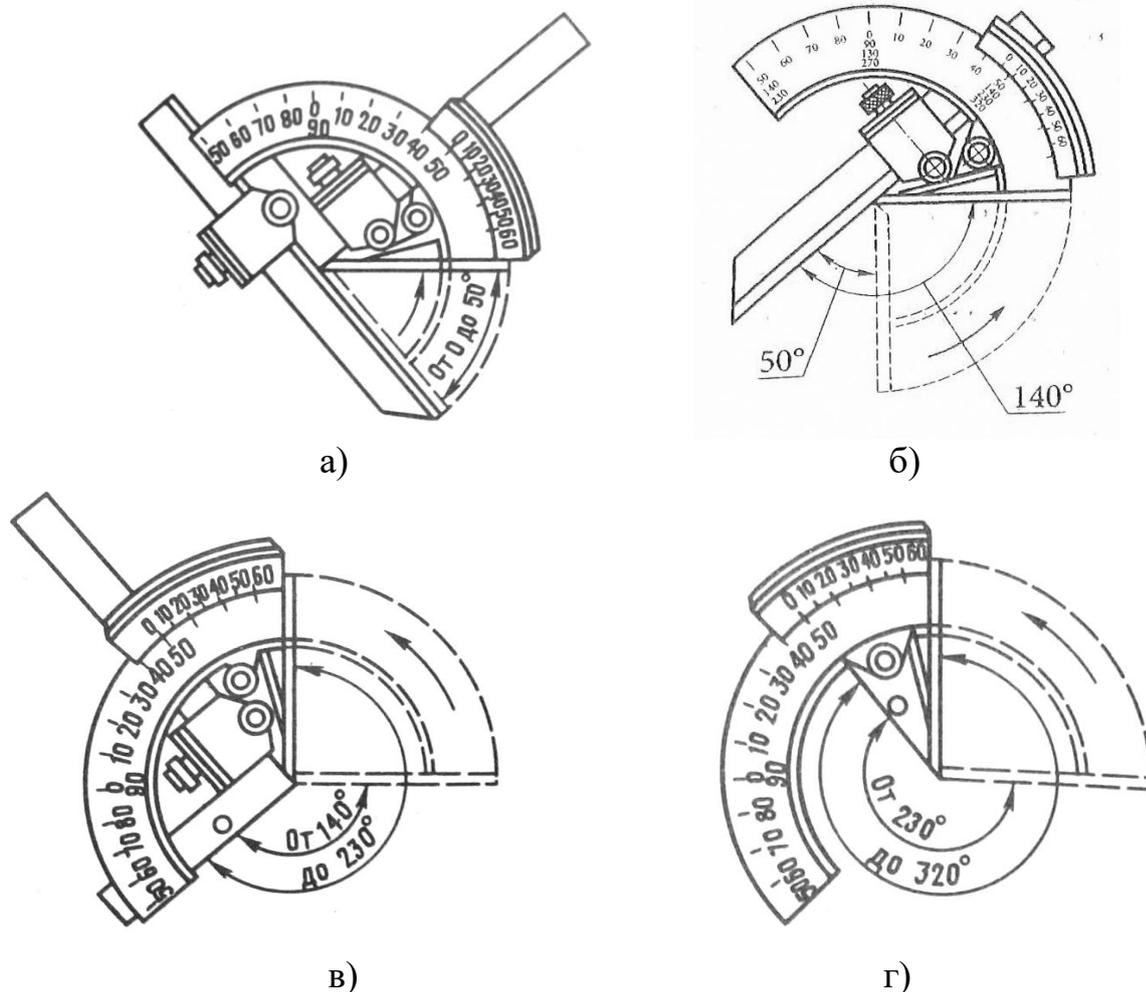


Рис. 15. Компоновки угломера для измерения углов разных диапазонов: а) от 0 до 50°; б) 50 до 140°; в) от 140 до 230°; г) от 230 до 320°

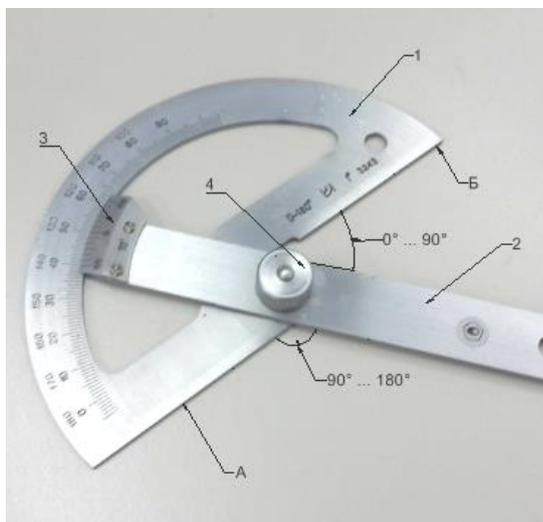


Рис. 16. Угломер (тип 4):
1 – основание; 2 – поворотная линейка;
3 – нониус; 4 – стопор

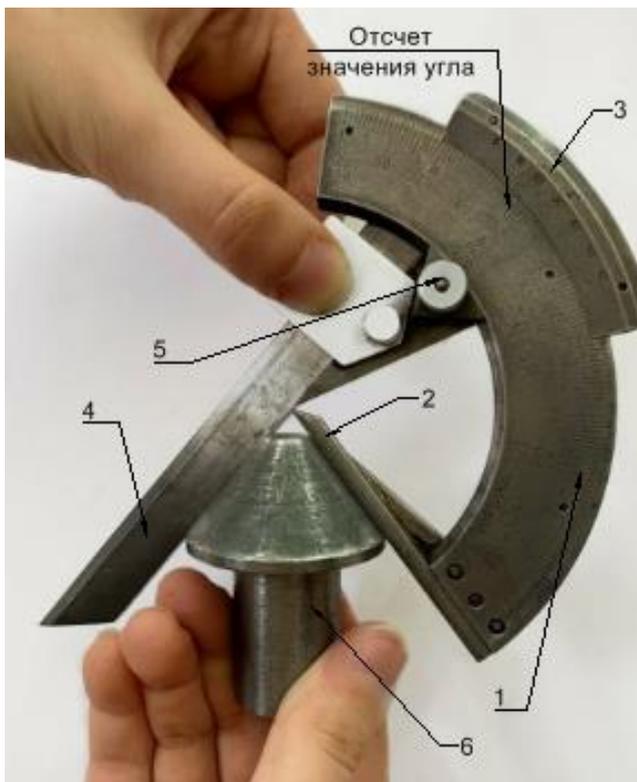


Рис. 17. Схема измерения угломером:
 1 – основание; 2 – линейка
 постоянная; 3 – сектор; 4 – линейка
 сменная; 5 – стопор сектора;
 6 – деталь

Микрометрические средства измерений

Общие сведения

К микрометрическим средствам измерения относятся микрометры, микрометрические нутромеры и микрометрические глубиномеры, применяемые для измерения наружных и внутренних размеров, а также высот, уступов, глубин и т. п.

Измерения микрометрическими средствами основаны на преобразовании вращательного движения в поступательное с помощью винтовой пары (механический принцип) и реализуют прямой контактный вид измерения (рис. 19). Результат измерения получаем методом непосредственной оценки.

Отсчётное устройство микрометрических средств измерения состоит из двух шкал, нанесённых на стебель 1 (с ценой деления 0,5 мм) (рис. 20) и барабан 3 (с ценой деления 0,01 мм), а также двух указателей для отсчёта значения размера. На верхнюю сторону продольного штриха 2 стебля 1 наносится одна группа штрихов с интервалом в 1 мм, а на нижнюю сторону продольного штриха – вторая группа штрихов также с интервалом в 1 мм, но сдвинутых на 0,5 мм по отношению к первой шкале. Обе группы штрихов относятся к одной шкале с ценой деления 0,5 мм.

Для шкалы на стебле 1 с ценой деления 0,05 мм указателем является торец 5 конической части барабана 3, а для шкалы барабана с ценой деления 0,01 мм – продольный штрих 2, нанесённый на стебель 1.

Диапазон измерений микрометрических средств зависит от их конструкции.

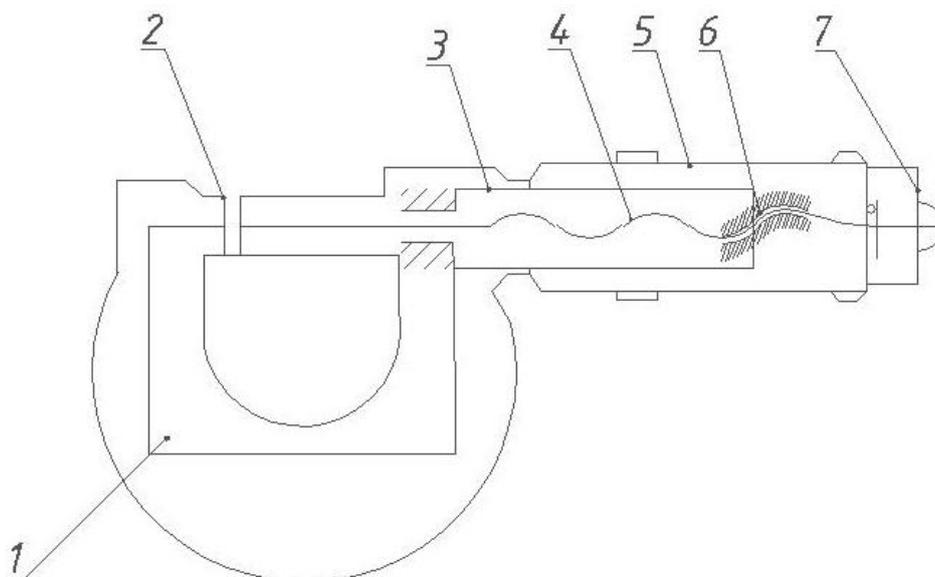


Рис. 19. Кинематическая схема микрометра:

1 – скоба; 2 – пятка; 3 – стебель; 4 – винт микрометрический; 5 – барабан;
6 – гайка; 7 – трещотка

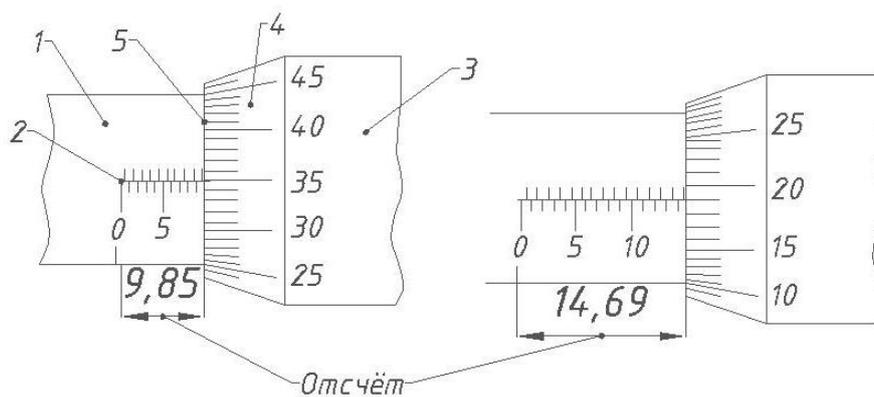
Диапазон показаний у большинства микрометрических инструментов – 25 мм, так как рабочая часть микрометрического винта имеет длину 25 мм. Шаг микрометрического винта $P = 0,5$ мм, следовательно, одному обороту микрометрического винта (и барабана) соответствует линейное перемещение барабана на 0,5 мм. А поскольку шкала барабана имеет 50 делений, то, следовательно, цена деления шкалы на барабане составит: $j = P/n = 0,5/50 = 0,01$ мм.

При отсчётах по шкалам микрометрических средств измерения необходимо руководствоваться следующими правилами:

1) по шкале стебля отсчитывают миллиметровые и полумиллиметровые деления, расположенные левее скоса барабана;

2) сотые доли миллиметра определяют по штриху барабана, совпадающему с продольной риской на стебле. Если продольный штрих окажется между штрихами шкалы барабана на глаз оценивают часть интервала (обычно до $\frac{1}{2}$ интервала, т. е. до 0,005 мм). Скос на барабане для шкалы сотых долей миллиметра приближает её к шкале стебля и тем предохраняет от внесения значительной погрешности из-за параллакса шкалы.

Примеры отсчёта показаны на рис. 20. Порядок отсчёта показаний остаётся неизменным для всех типов микрометрических средств измерения, но следует помнить, что для таких средств измерения как микрометрический нутромер к отсчету необходимо добавить начальный размер микрометрической головки, включая дополнительные вставки.



а)



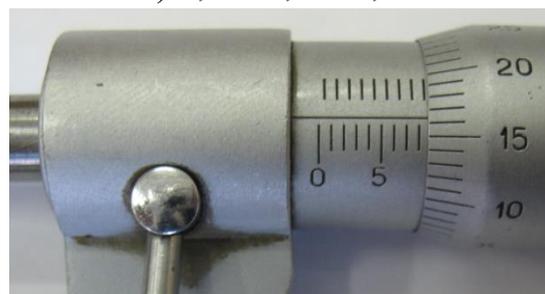
б) $9,00=9,00$ мм



в) $6,00+0,50=6,50$ мм



г) $9,00+0,50+0,32=9,82$ мм



д) $8,00+0,50+0,16=8,66$ мм

Рис. 20. Примеры отсчёта размеров при измерении микрометрическими средствами измерений:

- 1 – стемпель; 2 – продольная риска на стемпеле для отсчёта сотых долей миллиметра;
 3 – барабан; 4 – шкала барабана; 5 – торец барабана, служащий для отсчёта значения размера с точностью 0,5 мм

Микрометр

Конструкция гладкого микрометра

Гладкий микрометр типа МК, изображенный на рис. 21, применяется для измерения наружных размеров плоских и цилиндрических деталей. Он состоит из скобы 1, с которой неподвижно соединены пятка 2 и стемпель 3. На правом конце стемпеля 3 нарезана внутренняя цилиндрическая резьба, в которую ввёрнута втулка 5 с внутренней цилиндрической и наружной конической резьбами. На всей длине наружной конической резьбы втулки имеются три равномерно расположенные продольные прорези. Внутри втулки 5 по резьбе перемещается микрометрический винт 6, а на наружную коническую резьбу наво-

рачивается регулировочная гайка 7, предназначенная для устранения свободного хода (зазора) винта. На стембель 3 одевается барабан 8 и соединяется с микрометрическим винтом 6 гайкой 12.

Для обеспечения постоянства измерительного усилия микрометр имеет специальное устройство – храповой механизм 9, (так называемую трещотку) (рис. 21), соединённый с гайкой 12. При вращении трещотки одновременно будут вращаться и перемещаться поступательно микрометрический винт и барабан.

Когда измерительная поверхность микрометрического винта прикоснется к изделию, храповой механизм начнёт вращаться вхолостую, не вращая микрометрический винт (при этом будет слышен характерный треск). Пружина храпового механизма рассчитывается таким образом, чтобы она обеспечивала постоянное измерительное усилие в пределах 7 ± 2 Н.

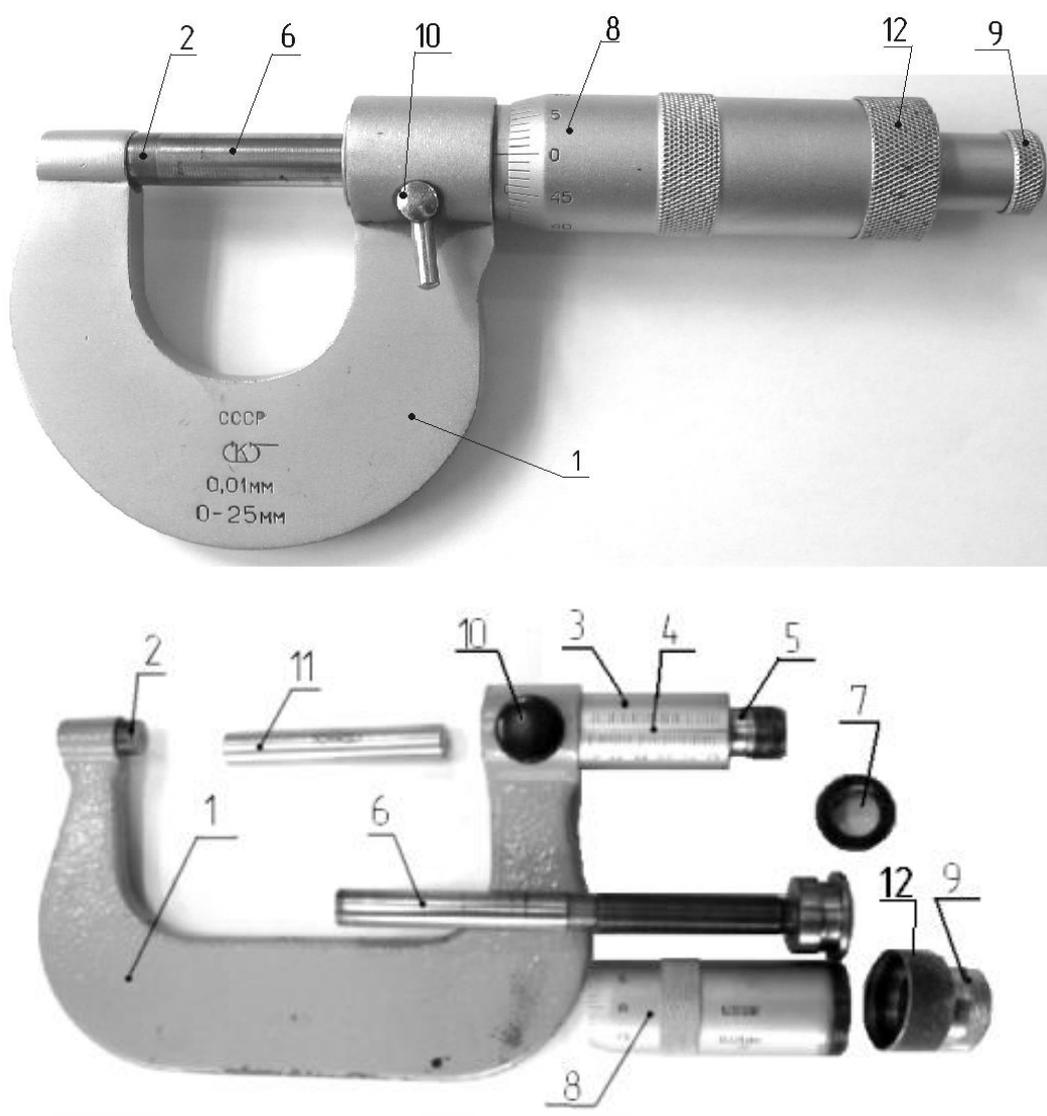


Рис. 21. Гладкий микрометр типа МК:

1 – скоба; 2 – пятка; 3 – стембель; 4 – шкала на стембле; 5 – втулка; 6 – винт микрометрический; 7 – гайка регулировочная; 8 – барабан; 9 – храповой механизм; 10 – винт стопорный; 11 – мера концевая; 12 – гайка

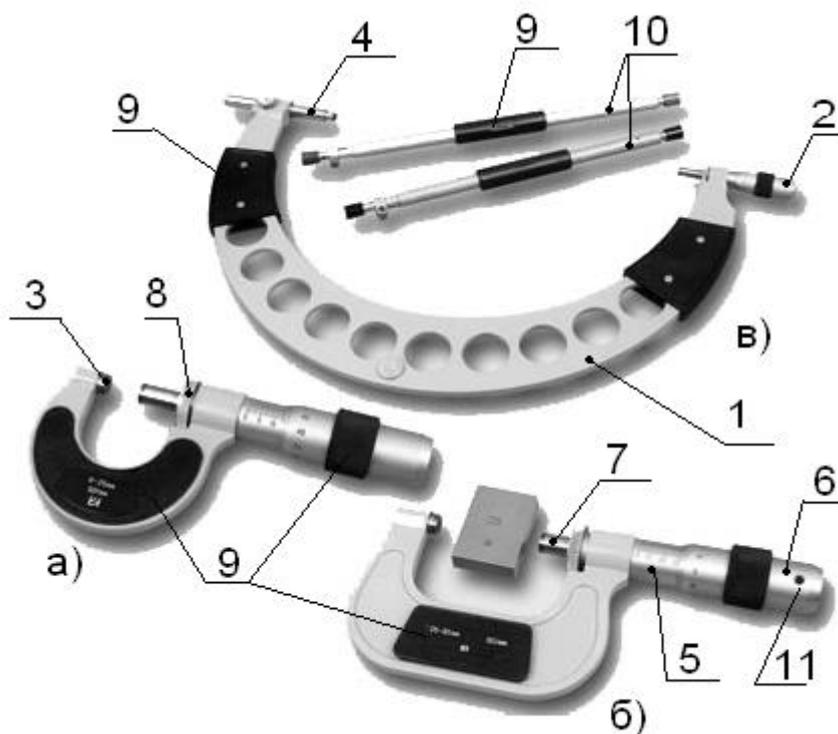


Рис. 22. Микрометры гладкие типа МК:

- 1 – скоба; 2 – микрометрическая головка; 3 – пятка постоянная; 4 – пятка переставная; 5 – стебель; 6 – барабан; 7 – микровинт; 8 – стопор микровинта; 9 – теплоизоляционные наклейки; 10 – установочная мера; 11 – винт стопорения барабана

Вращать микрометрический винт (барабан) разрешается только за наружную поверхность 9 храпового механизма.

Для закрепления микрометрического винта в нужном положении предусмотрено стопорное устройство, состоящее из втулки и стопорного винта 10. Для проверки микрометра с нижним пределом измерения более 25 мм используется установочная мера 11 (рис. 21).

Между собой микрометры отличаются размерами скоб (рис. 22). Основные параметры и размеры микрометров типа МК должны соответствовать требованиям ГОСТ 6507–90 [14] (табл. 4).

У микрометров, начиная с МК 400, перемещение винта составляет 25 мм, а указанный предел измерения в 100 мм (диапазон измерения от 300 до 400 мм) обеспечивается переставной пяткой 4 (рис. 22) или сменной вставкой. Допускается изготовление микрометров с пределами измерения 0–15 мм.

Пример обозначения микрометра с диапазоном измерения 100–125 мм 1-го класса точности:

Микрометр МК 125-1 ГОСТ 6507-90

Установка гладкого микрометра на нуль

Перед началом измерений проверяется установка микрометра «на нуль». Для микрометра с пределами измерений 0–25 мм проверка производится на нулевом делении шкалы стебля без использования концевой меры, для микрометра с пределами измерений 25–50 мм и более с использованием концевой меры, при-

ложенной к микрометру. Её размер должен быть равен наименьшему размеру, который можно измерить микрометром. Например, если микрометр имеет диапазон измерения 25–50 мм, то размер концевой меры должен быть равен 25 мм. При диапазоне измерения 75–100 мм – 75 мм и т. д. Мера находится в футляре микрометра, и её размер равен нижнему пределу измерения микрометром.

Таблица 4

Модель	Диапазон измерений, мм	Габаритные размеры, мм	Модель	Диапазон измерений, мм	Габаритные размеры, мм
МК 25	0–25	125x67x23	МК 200	175–200	320x196x23
МК 50	25–50	155x75x23	МК 225	200–225	348x219x23
МК 75	50–75	183x86x23	МК 250	225–250	376x244x23
МК 100	75–100	211x105x23	МК 275	250–275	402x255x23
МК 125	100–125	242x144x23	МК 300	275–300	427x267x23
МК 150	125–150	268x163x23	МК 400	300–400	530x302x29
МК 175	150–175	293x176x23	МК 500	400–500	631x365x29

Установка микрометра на нуль производится следующим образом. Осторожно вращая микрометрический винт за трещотку (рис. 23), приводят в соприкосновение измерительные поверхности торцов микровинта и пятки для микрометров с диапазоном измерения 0–25 мм (рис. 23). Для микрометров с другими пределами измерения между торцами микровинта и пятки устанавливают концевую меру и приводят в соприкосновение измерительные поверхности торцов микровинта и пятки и меры.



Рис. 23. Проверка нулевого положения микрометра

Если микрометр настроен правильно то, при указанном соприкосновении, штрих начального деления миллиметровой шкалы стебля (ноль, 25, 50 и т.д.) должен быть полностью виден из-под скошенного края барабана. При этом нулевое деление круговой шкалы должно находиться против продольного штриха на стебле (рис. 24).



Рис. 24. Установка микрометра на нуль проведена правильно

Если микрометр установлен неправильно (рис. 25), следует изменить положение барабана на стебле.



Рис. 25. Неправильная установка микрометра в нулевое положение

Для этого, необходимо закрепить стопорным устройством 3 (рис. 26) микровинт и, придерживая левой рукой за выступ с накаткой корпуса барабана 1, от- дать правой рукой гайку 2 (являющуюся также корпусом трещотки), которая освободит корпус барабана. После этого повернуть свободно сидящий на стебле барабан так, чтобы риска нуля шкалы барабана совпала с продольной риской на стебле (рис. 27) и, придерживая корпус барабана за выступ с накаткой, снова за- крепить барабан гайкой.

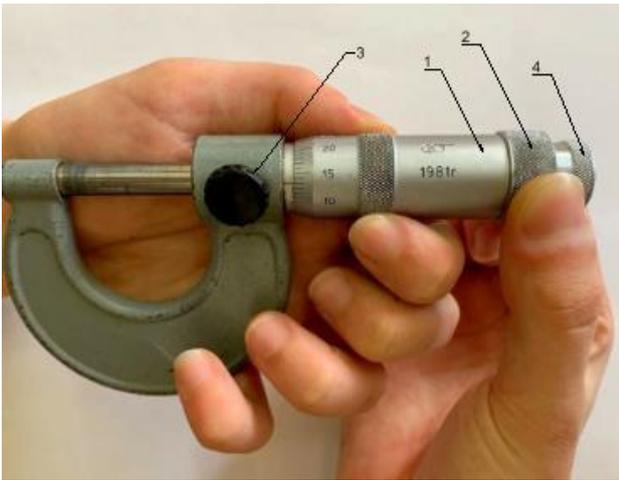


Рис. 26 – Отсоединение барабана от микрометра



Рис. 27 – Установка барабана на нуль

Для проверки правильности установки на нуль следует отпустить стопорный винт 3, освободив микровинт, за трещотку 4 отвести микровинт на половину или целый оборот и затем снова привести в соприкосновение измерительные поверхности торцов микровинта установочной меры и пятки.

Следует иметь в виду, что при затягивании гайки 2 не следует касаться скобы микрометра, поскольку нулевая установка может нарушиться. Поэтому будет необходимо снова проверить установку микрометра на нуль и в случае необходимости повторить настройку.

Для проведения измерения отводят измерительную поверхность микровинта 1 (рис. 28) путем вращения барабана 2 за трещотку 3 на необходимое расстояние, затем между измерительными поверхностями микровинта 1 и пятки 4 помещают измеряемый объект 5.



Рис. 28. Измерение микрометром наружного диаметра втулки:
1 – микровинт; 2 – барабан; 3 – трещотка; 4 – пятка; 5 – деталь;
6 – стопорный винт

Вращая микровинт 1 (обязательно только за трещотку 3) по часовой стрелке, доводят его до соприкосновения с деталью 5 (до появления характерного треска) и, слегка покачивая микрометр, проверяют отсутствие перекоса.

Для получения правильного результата линия измерения должна быть перпендикулярна к образующим и проходить через центр изделия. После этого застопорить микровинт стопором 6, снять микрометр с детали и произвести отсчёт по шкалам микрометра (рис. 29).

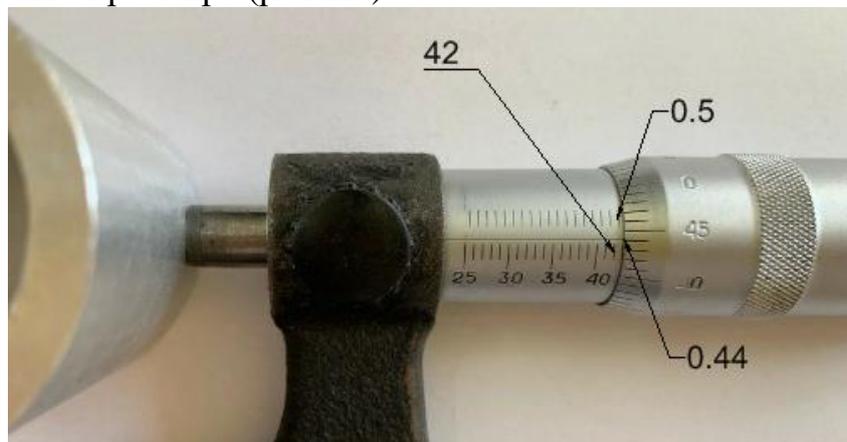


Рис. 29. Снятие отсчёта по шкалам микрометра:
результат отсчета: $42+0,5+0,44=42,94$

Микрометрический нутромер

Микрометрические нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров: диаметр отверстия, ширина паза и т.п.

Принцип действия нутромера механический – преобразование вращательного движения барабана в поступательное движение микровинта (аналогично микрометру). Нутромер реализует прямые контактные измерения. Результат измерения определяется методом сравнения (дифференциальный метод).

Основные части микрометрического нутромера (рис. 30): измерительный наконечник 1, удлинители 2 и микрометрическая головка 3. Основным узлом нутромера является микрометрическая головка.

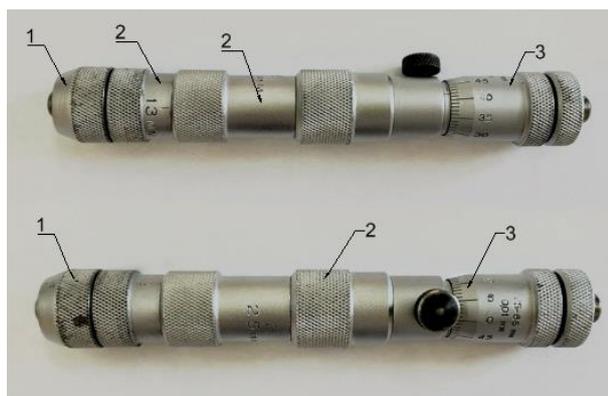


Рис. 30. Микрометрические нутромеры:
а – с микрометрической головкой;
б – с микрометрической и индикаторной головками; 1 – наконечник;
2 – удлинители; 3 – микрометрическая головка

Микрометрическая головка (рис. 31), подобно обычному микрометру, состоит из стебля 1, находящегося внутри стебля микрометрического винта со сферической измерительной поверхностью 2, барабана 3, установочного колпачка 4 и стопора 5. Предел измерения микрометрической головки – 13 мм. Кроме того, они изготавливаются с пределом измерения: 25 мм, если нижний предел измерения нутромера более 75 мм.

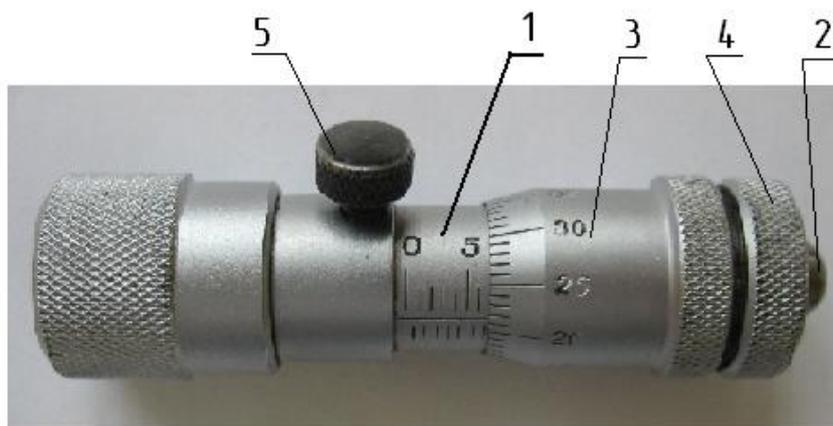


Рис. 31. Микрометрическая головка нутромера:

1 – стебель; 2 – микровинт; 3 – барабан; 4 – гайка для соединения барабана с микровинтом; 5 – стопор микровинта

Для расширения пределов измерения к микрометрической головке прилагают набор соответствующих удлинителей 4 (рис. 32). На каждом удлинителе маркирован его рабочий размер. На удлинителях 500 мм и более имеются накладки, обладающие малой теплопроводностью. К нутромеру прилагается табл. 5, составленная заводом-изготовителем, которая облегчает подбор удлинителей.

В комплект нутромера входит установочная мера 5, имеющая вид скобы (рис. 32), по которой производится нулевая установка прибора.



Рис. 32. Нутромер микрометрический в футляре:

1 – футляр; 2 – микрометрическая головка; 3 – наконечник; 4 – удлинители (50, 25 и 13 мм); 5 – скоба для настройки нутромера; 6 – винт крепления скобы к футляру

Таблица 5

РАБОЧАЯ ТАБЛИЦА подбора удлинителей НМ 75 – 175 мм	
Предел измерения	№ удлинен. в наборе
75-88	М; Н
88-100	М; 1; Н
100-113	М; 2; Н
113-125	М; 2; 1; Н
125-138	М; 3; Н
138-150	М; 3; 1; Н
150-163	М; 3; 2; Н
163-175	М; 3; 2; 1; Н
М – микрометрическая головка Н–наконечник УДЛИНИТЕЛИ	
Номер	Размер
1	13 мм
2	25 мм
3	50 мм

Размеры, технические условия и точность микрометрических нутромеров, а также размеры установочных мер регламентированы ГОСТ 10-88 [15].

Микрометрические нутромеры по ГОСТ 10-88 должны изготавливаться с пределами измерения 50–75, 75–175, 75–600, 150–1250, 600–2500, 1250–4000 и 2500–6000 мм и ценой деления шкалы барабана 0,01 мм, а шкалы стебля – 1 мм. Последние три типа нутромеров выпускаются с двумя головками – микрометрической и индикаторной часового типа.

Перед началом измерений микрометрическим нутромером, также как микрометром, производится проверка нулевой установки. Для этой цели используется специальная установочная мера (скоба) 5 (рис. 32).

Микрометрическую головку 7 (рис. 33), соединённую с наконечником 8, помещают между рабочими поверхностями меры 1, причём измерительную поверхность наконечника 8 прижимают левой рукой к нижней рабочей поверхности меры 1.

Микрометрический нутромер не имеет трещотки, поэтому плотность соприкосновения измерительных наконечников с поверхностями меры или детали определяется на ощупь.

Правой рукой, покачивая верхнюю часть головки, поворачивают барабан 4, находя кратчайшее расстояние между губками меры 1, измерительные поверхности головки должны касаться рабочих поверхностей меры с легким трением. После этого микрометрический винт закрепляют зажимным винтом 6, а головку с наконечником вынимают из меры. Если нулевое деление барабана не совпадает с продольным штрихом 5 стебля, ослабляют гайку 3, барабан 4 пово-

рачивают до совпадения нулевого штриха с продольным штрихом стебля, снова затягивают гайку 3 и проверяют установку на нуль описанным выше способом.

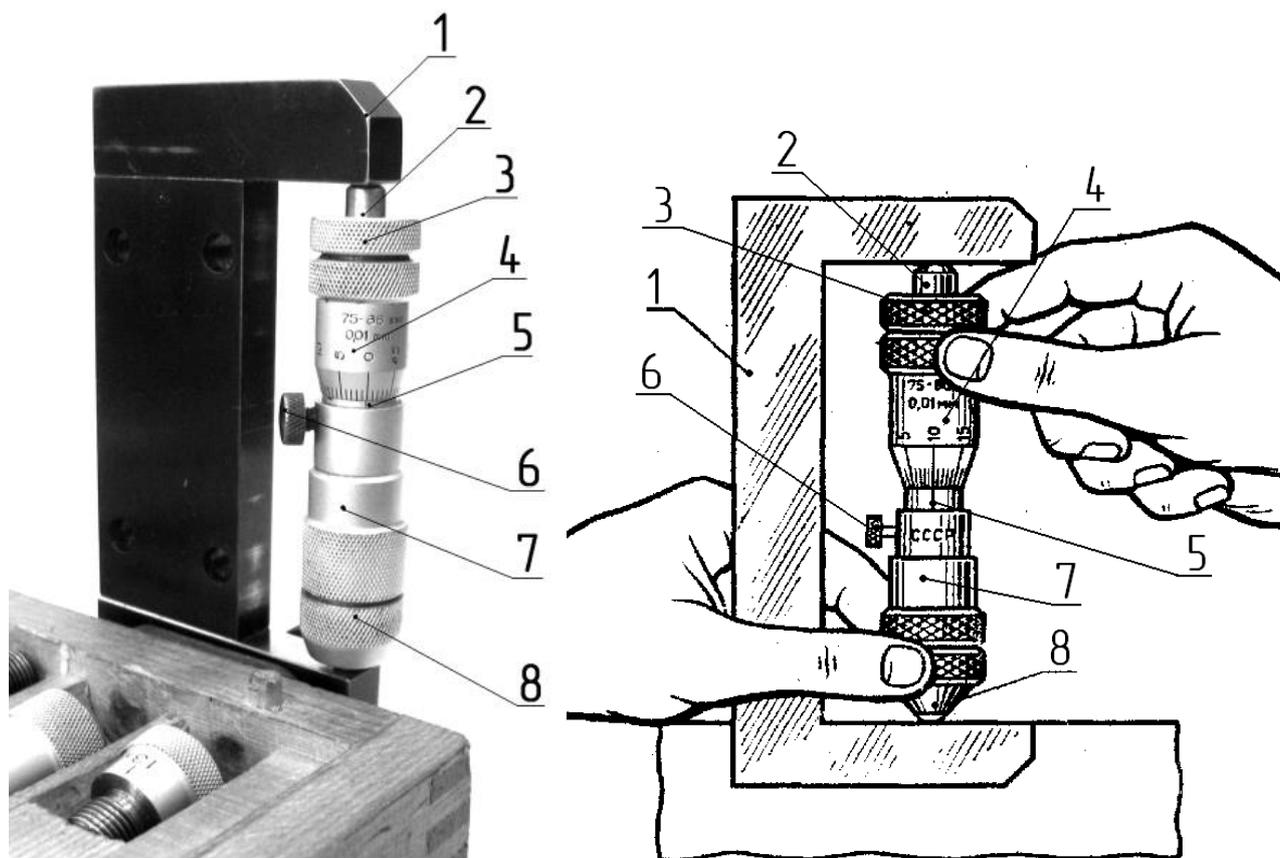


Рис. 33. Установка нутромера по концевой мере (скобе) на нуль:
 1 – скоба; 2 – измерительный наконечник (микровинт); 3 – гайка;
 4 – барабанчик; 5 – продольная риска на стебле микрометрической головки;
 6 – винт стопорный; 7 – микрометрическая головка; 8 – наконечник

После окончательной настройки нулевой штрих основной шкалы должен быть виден из-под торца барабана. Против продольного штриха шкалы на стебле должно стоять нулевое деление шкалы барабана (рис. 34).

После установки на нуль нутромера им можно производить измерения. Для этого его необходимо настроить на размер отверстия контролируемой детали.

Настройка нутромера на измеряемый размер: если номинальное значение измеряемого размера отверстия превышает 88 мм, снимают наконечник 8 и ввинчивают в головку нужные удлинители из набора (рис. 33). Нулевая установка при этом не нарушается. Для подбора необходимых удлинителей следует использовать таблицу на обратной стороне крышки, составленную изготовителем нутромера.

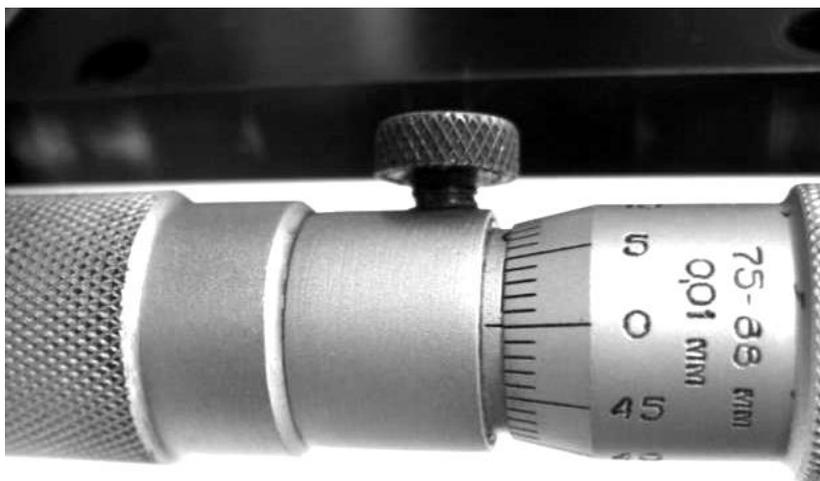


Рис. 34. Пример правильной установки нутромера на нуль

Измерение размера отверстия. На рис. 35 показана схема измерения нутромером диаметра отверстия. При измерении цилиндрического отверстия линия измерения должна располагаться по наибольшему размеру q в плоскости, перпендикулярной к оси отверстия, и по наименьшему размеру k в плоскости осевого сечения. Оба эти значения размера диаметра отверстия должны быть равны.

Микрометрическую головку устанавливают на такой размер, чтобы общая длина нутромера была немного меньше размера проверяемой поверхности. Этот размер приблизительно можно измерить штангенциркулем.

Затем нутромер помещают внутрь измеряемого отверстия (рис. 36), левой рукой измерительную поверхность наконечника 1 прижимают к поверхности отверстия измеряемой детали. А правой рукой, осторожно вращая барабан 2, перемещают микрометрический винт 3 головки (слегка покачивая при этом нутромер) до соприкосновения с поверхностью отверстия. Если при покачивании нутромера ощущается лёгкое трение при соприкосновении измерительных поверхностей микрометрической головки с измеряемой деталью, микрометрический винт закрепляют зажимным винтом 4. Затем проверяют усилие покачивания, которое должно быть с лёгким трением, после чего нутромер выводят из проверяемого отверстия и производят отсчёт по шкалам и к этой сумме прибавляют наименьший предельный размер диапазона, на который был настроен нутромер.

Пример. Для измерения диаметра отверстия нутромер был настроен на диапазон измерений 100–113 мм. После измерения снимаем отсчёт по шкалам (рис. 37). По шкале на стебле (верхняя) производим отсчёт целых миллиметров – 2 мм. На нижней шкале видна риска, однако полмиллиметра можно учитывать если нулевой штрих шкалы барабана установится против продольной риски на стебле.

До такого положения барабан следует повернуть против часовой стрелки на два деления (0,02 мм), т. е. увеличить размер на 0,02 мм. Следовательно, в отсчёт учитываем только 0,48 мм. Таким образом, отсчёт по шкалам составит: $2 + 0,48 = 2,48$ мм.

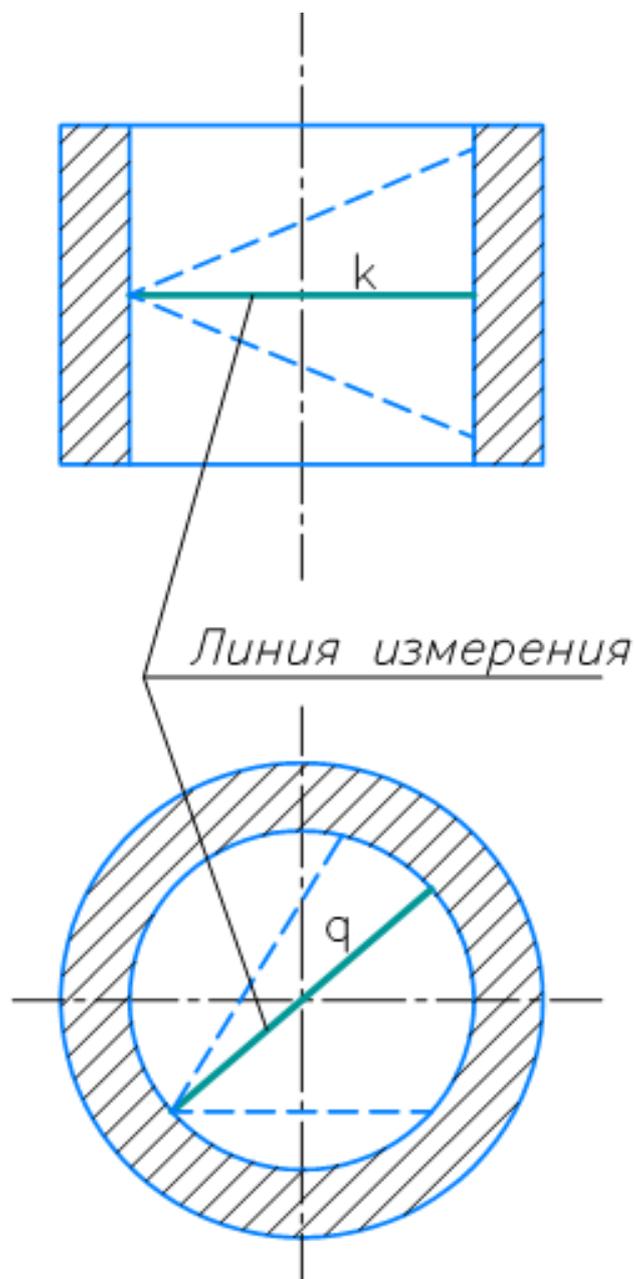


Рис. 35. Положение линии измерения диаметра отверстия нутромером

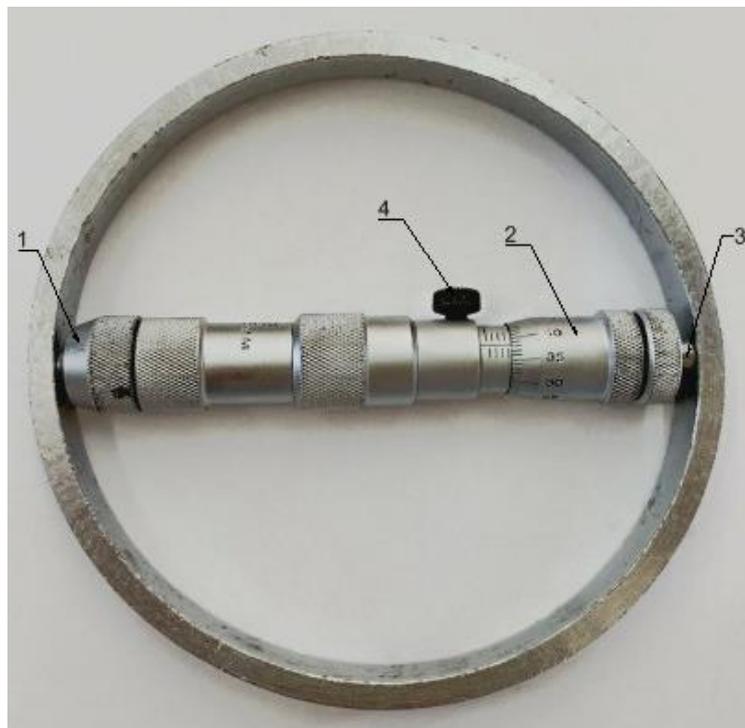


Рис. 36. Измерение микрометрическим нутромером диаметра отверстия:
 1 – наконечник; 2 – барабан; 3 – микровинт; 4 – винт стопорный



Рис. 37. Пример отсчёта по шкалам нутромера

Поскольку нулевой штрих шкалы на стебле соответствует наименьшему размеру диапазона, то к нему прибавляем значение отсчёта по шкалам.

Результат измерения будет равен: $100 + 3,13 = 103,13$ мм.

Лабораторная работа № 1

Конструкции и метрологические характеристики средств измерения

Цель: получение практических умений и навыков определения метрологических характеристик средств измерения (СИ), используя натурные образцы и соответствующие нормативные документы.

Задание

Изучить конструкции нониусных и микрометрических средств измерения; ознакомиться с метрологической терминологией для использования её в последующих лабораторных работах и дальнейшей практической работе; освоить основные приёмы работы с штангенциркулем, угломером и микрометром; научиться работать с нормативной документацией:

- 1) Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / А. И. Аристов [и др.]. – Москва: Академия, 2008. – 384с [21].
- 2) ГОСТ 8.051-81 ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм [22].
- 3) ГОСТ 166—89 (ИСО 3599-76). Штангенциркули. Технические условия [9].
- 4) ГОСТ 5378-88. Угломеры с нониусом. Технические условия [11].
- 5) ГОСТ 6507 – 90. Микрометры. Технические условия [14].
- 6) РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения [1].

Этапы выполнения

1. Изучить конструкцию заданных средств измерения.
2. Описать назначение и правила работы каждым СИ.
3. Определить тип (модель) СИ по их внешнему виду и соответствующей нормативной документации.
4. Определить основные метрологические характеристики СИ (диапазон измерений, цену деления, предел допускаемой погрешности СИ).

Оборудование, инструменты, приспособления

Штангенциркуль, штангенглубиномер, угломер с нониусом, микрометр гладкий типа МК, нутромер микрометрический типа НМ.

Порядок проведения работы и алгоритм выполняемых расчетов

- 1) изучить конструкцию нониусных средств измерения: штангенциркуля по ГОСТ 166-89, штангенглубиномера по ГОСТ 162-90 и угломера по ГОСТ 5378-88;
- 2) изучить конструкцию микрометрических средств измерения: микрометра гладкого по ГОСТ 6507-90 и нутромера микрометрического по ГОСТ 10-88;
- 3) определить по внешнему виду и соответствующей нормативной документации:
 - тип (модель) СИ и записать в табл. 6;

- метрологические характеристики: диапазон измерений, цену деления, предел допускаемой погрешности СИ и записать в табл. 6.

Таблица 6

Наименование средства измерения	Обозначение нормативного документа	Тип (модель)	Цена деления j , мм	Диапазон измерений, мм	Предел допускаемой погрешности СИ $\Delta_{пр}$, мм
Штангенциркуль					
Штангенглубиномер					
Угломер					
Микрометр					
Нутромер микрометрический					

Контрольные вопросы

- 1) В чём отличие нониусных и микрометрических средств измерения?
- 2) Что такое диапазон измерений?
- 3) Что такое цена деления средства измерения?
- 4) Чему равна цена деления шкалы барабана микрометра?
- 5) Как определить тип или модель средства измерения?
- 6) Как в микрометре ограничивается измерительное усилие?
- 7) Как определить цену деления нониуса, штангенциркуля и угломера?
- 8) Где указывается погрешность средства измерения?
- 9) Назовите основные части штангенциркуля, угломера, микрометра нутромера.

Лабораторная работа № 2

Измерение размеров нониусными средствами измерений

Цель: получение практических умений и навыков измерения нониусными средствами измерения, определения случайной, систематической и суммарной погрешности измерения.

Задание

Ознакомиться с устройством нониусных средств измерения (штангенциркуль, штангенглубиномер и угломер), их метрологическими характеристиками. Освоить технику измерения штангенциркулем с электронным отсчётным устройством. Научиться работать с нормативной документацией:

- 1) РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения [1].
- 2) ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76). Штангенциркули. Технические условия.

- 3) ГОСТ 162-90. Штангенглубиномеры. Технические условия.
- 4) ГОСТ 5378-88. Угломеры с нониусом. Технические условия.
- 5) Гост 6636 Нормальные линейные размеры [12].
- 6) РД 50-98-86 Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500мм [13].

Этапы выполнения

1. Произвести измерения (рис. 38):
 - а) штангенциркулем наружного $d1$ и внутреннего D диаметров детали;
 - б) штангенглубиномером высоту h цилиндрической части детали;
 - в) угломером угол α конуса детали.
2. Обработать результаты измерений и дать заключение о погрешности измерений.

Оборудование, инструменты, приспособления

Штангенциркуль по ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76), штангенглубиномер по ГОСТ 162-90, угломер по ГОСТ 5378-88.

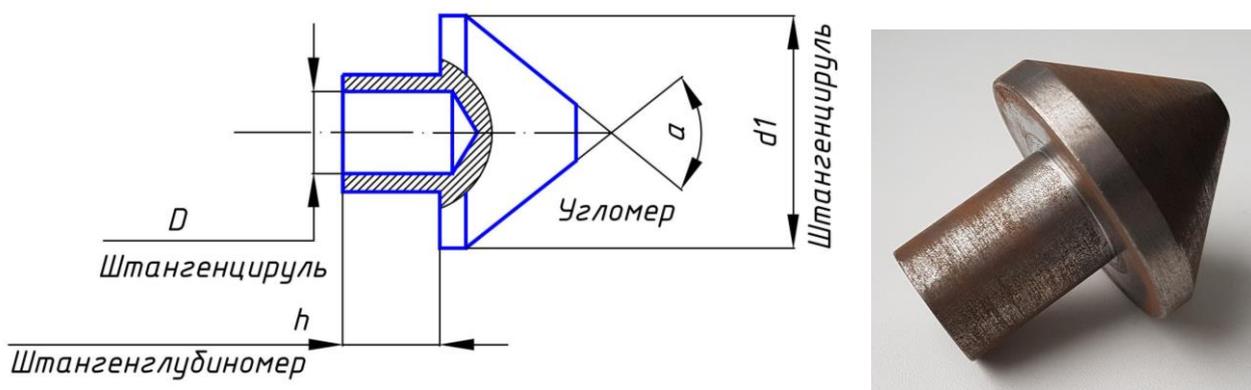


Рис. 38. Схема измерений и измеряемая деталь: а) схема деталей для измерения с указанием средства измерения, б) деталь

Порядок проведения работы и алгоритм выполняемых расчетов

1. Выполнить эскиз детали.
2. Ознакомиться со средствами измерения и занести в табл. 7 их метрологические характеристики. Систематическая погрешность применяемых средств измерения указывается в паспорте на средство измерения. При отсутствии паспортов средств измерения систематическую погрешность рекомендуется принимать по табл. 8 (только в учебных целях). Значения Пределов допускаемых погрешностей средств измерения выписать из нормативной документации для штангенциркуля из ГОСТ 166; для штангенглубиномера из ГОСТ 162; для угломера из ГОСТ 5378.

Таблица 7

Наименование средства измерения	Цена деления j, мм	Диапазон измерения, мм	Систематическая погрешность Δ_c , мм	Предел допускаемой погрешности средства измерения $\Delta_{си}$, мкм
Штангенциркуль				
Штангенглубиномер				
Угломер				

Таблица 8

Наименование средства измерения	Систематическая погрешность Δ_c , мм
Штангенциркуль	+0,02
Штангенглубиномер	- 0,02
Угломер	- 2'

3. Проверить нулевую установку штангенциркуля.

4. Произвести измерение штангенциркулем наружной и внутренней поверхности детали пять раз в одном и том же месте. Результаты измерений занести в табл. 9.

При измерениях всеми средствами измерений при обнаружении значения, резко отличающегося от остальных, произвести дополнительные измерения и, если отличающееся значение не повторится, исключить его как грубую ошибку.

5. Проверить нулевую установку и произвести измерение размера штангенглубиномером пять раз. Результаты измерений занести в табл. 9.

6. Проверить настройку угломера на ноль и измерить угол конуса угломером пять раз. Результаты измерений занести в табл. 9.

7. Провести обработку результатов измерений нониусными средствами:

а) определить значение каждого измеренного размера как среднее арифметическое из всех измерений:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n. \quad (2)$$

Результаты занести в табл. 9;

б) определить суммарную погрешность каждого однократного измерения $\Delta_{\Sigma i}$ как разность между результатом этого измерения и средним арифметическим значением:

$$\Delta_{\Sigma i} = x_i - \bar{X}. \quad (3)$$

За суммарную погрешность окончательного результата измерения Δ_{Σ} принять наибольшее абсолютное значение из погрешностей однократных измерений:

$$\Delta_{\Sigma} = |\Delta_{\Sigma i}|_{нб}. \quad (4)$$

Суммарная погрешность измерения состоит из совокупности систематических и случайных погрешностей:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_c + \overset{\circ}{\Delta}. \quad (5)$$

в) составить таблицу по форме табл. 10 для записи результатов измерений и расчётов;

г) определить случайную погрешность измерения и записать в табл. 10

$$\overset{\circ}{\Delta} = \Delta_{\Sigma} - \Delta_c; \quad (6)$$

Таблица 9

Обозначение измеренного размера	Результат однократного измерения (показание средства измерения), мм					Результат измерения \bar{X} , мм	Суммарная погрешность однократного измерения $\Delta_{\Sigma i}$, мм	Суммарная погрешность результата измерения Δ_{Σ} , мм
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
D								
d								
h								
α								

Результаты всех вычислений занести в табл. 10. Предельную погрешность измерения данным средством измерения для соответствующего диапазона размеров взять из РД 50-98-86.

Таблица 10

Обозначение измеренного размера	Результат измерения с учетом погрешности $\bar{x} \pm \Delta_{\Sigma}$, мм	Суммарная погрешность измерения Δ_{Σ} , мм	Систематическая погрешность средства измерения Δ_c , мм	Случайная погрешность измерения Δ , мм	Предельная погрешность измерения данным средством измерения Δ_i , мм
D					
d					
h					
α					

д) сравнить полученное значение суммарной погрешности измерения с предельной погрешностью измерения для каждого средства измерения и сделать вывод о точности проведённых измерений по условию:

$$\Delta_{\Sigma} \leq \Delta_i . \quad (7)$$

8. Начертить эскиз детали на котором указать числовые значения измеренных размеров, округлённые по ГОСТ 6636 с учётом значения размера. Такой округлённый размер будет называться номинальным размером. Общее положение для округления: для наружных размеров значение округляем до ближайшего большего стандартного значения; для внутренних размеров – до ближайшего меньшего стандартного значения.

Желательно проводить округление в пределах половины миллиметра. Например, среднее арифметическое 19,85 мм округляем до 20 мм. А среднее арифметическое 17,15 – до 17 мм, т. е. до ближайшего меньшего. При округлении размеров лучше посоветоваться с преподавателем или учебным мастером.

9. Дать заключение о точности проведённых измерений и состоянии средств измерения.

10. Освоить технику измерения штангенциркулем с электронным отсчётным устройством.

Контрольные вопросы

- 1) Что называется измерением?
- 2) Какие методы измерения используются в данной работе?
- 3) Назовите основные метрологические характеристики использованных в работе средств измерения.
- 4) Объясните устройство и укажите область применения средств измерения, которые были использованы в работе.
- 5) Как проверить правильность показаний штангенциркуля, штангенглубиномера, угломера?
- 6) Какие погрешности называют систематическими, случайными, грубыми?
- 7) Что такое суммарная погрешность измерения и как она определяется?

8) Что такое предел допускаемой погрешности средства измерения и предельная погрешность измерения?

9) В каких документах указана систематическая погрешность средства измерения?

10) Для чего нужен нониус?

11) Что такое параллакс? Как уменьшить погрешность от параллакса?

Лабораторная работа № 3

Измерение размеров микрометрическими средствами измерения

Цель: получение практических умений и навыков работы с устройством микрометрических средств измерения (микрометр гладкий и нутромер микрометрический), изучение их метрологических характеристиками.

Задание

Освоить технику измерения микрометрическими средствами измерения, научиться определять случайную систематическую и суммарную погрешности результата измерения. Научиться обрабатывать результаты измерений. Научиться работать с нормативной документацией:

- 1) РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения
- 2) ГОСТ 6507-90 Микрометры. Технические условия.
- 3) ГОСТ 10-88 Нутромеры микрометрические. Технические условия.
- 4) Гост 6636 Нормальные линейные размеры.
- 5) РД 50-98-86 Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм.

Этапы выполнения

1. Произвести измерения указанных на эскизе (рис. 39) размеров деталей:
 - а) микрометром – наружного диаметра d детали 1;
 - б) нутромером – внутреннего диаметра $D1$ детали 2;
2. Обработать результаты измерений и дать заключение о погрешности измерений.

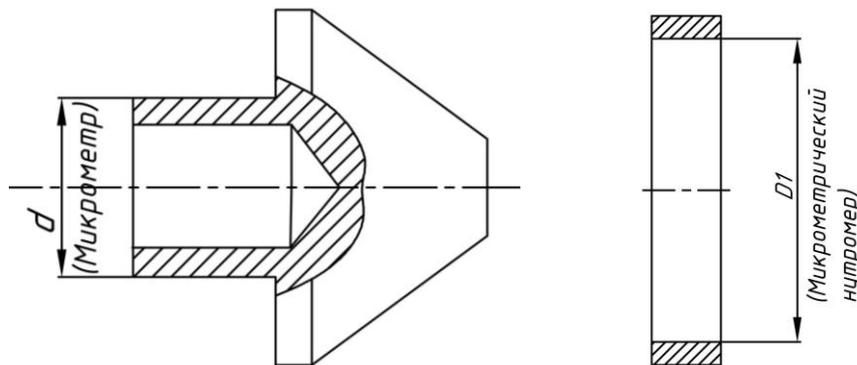


Рис. 39. Схема деталей для измерения с указанием средства измерения

Оборудование, инструменты, приспособления

Микрометр гладкий типа МК по ГОСТ 6507-90.

Нутромер микрометрический по ГОСТ 10-88.

Порядок проведения работы и алгоритм выполнения расчетов

1. Выполнить эскиз деталей.

2. Ознакомиться со средствами измерения и их метрологическими характеристиками и записать в табл. 11. Систематическая погрешность применяемых средств измерения указывается в паспорте на средство измерения. При отсутствии паспортов средств измерения систематическую погрешность рекомендуется принимать по табл. 12 (только в учебных целях). Значения Пределов допускаемых погрешностей средств измерения выписать из нормативной документации для микрометра гладкого из ГОСТ 6507-90; для нутромера микрометрического из ГОСТ 10-88; для микрометра электронного из ГОСТ 6507-90.

3. Измерить микрометром гладким заданные размеры.

Проверить установку микрометра на ноль. При необходимости произвести его настройку. Измерить заданный размер не менее пяти раз в одном и том же месте. При всех измерениях при обнаружении значения, резко отличающегося от остальных, произвести дополнительные измерения и, если отличающееся значение не повторится, исключить его как грубую ошибку. Результаты измерений занести в табл. 13.

Таблица 11

Наименование средства измерения	Цена деления j , мм	Диапазон измерения, мм	Систематическая погрешность Δ_c , мм	Предел допускаемой погрешности средства измерения $\Delta_{си}$, мм
Микрометр гладкий				
Нутромер микрометрический				

4. Проверить микрометрический нутромер настройкой на ноль перед началом использования. При необходимости произвести его настройку. Измерить микрометрическим нутромером заданный размер не менее пяти раз в одном и том же месте. Результаты измерений занести в табл. 14.

Таблица 12

Наименование средства измерения	Цена деления j , мм	Систематическая погрешность Δ_c , мм
Микрометр	0,01	- 0.0025
Нутромер микрометрический	0,01	+ 0,0035

5. Обработать результаты измерений размеров микрометрическими средствами:

а) определить значение каждого измеренного размера как среднее арифметическое из всех измерений:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n. \quad (8)$$

Результаты занести в табл. 12;

б) определить суммарную погрешность каждого однократного измерения $\Delta_{\Sigma i}$ как разность между результатом этого измерения и средним арифметическим значением:

$$\Delta_{\Sigma i} = x_i - \bar{X}. \quad (9)$$

За суммарную погрешность окончательного результата измерения Δ_{Σ} принять наибольшее абсолютное значение из погрешностей однократных измерений:

$$\Delta_{\Sigma} = |\Delta_{\Sigma i}|_{\text{нб}}. \quad (10)$$

Суммарная погрешность измерения состоит из совокупности систематических и случайных погрешностей:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_c + \Delta. \quad (11)$$

в) определить случайную погрешность измерения и записать в табл. 13:

$$\Delta = \Delta_{\Sigma} - \Delta_c; \quad (12)$$

г) результаты вычислений занести в табл. 14. Предельную погрешность измерения данным средством измерения для соответствующего диапазона размеров взять из РД 50-98-86.

7. Сравнить полученное значение суммарной погрешности измерения с пределом допускаемой погрешности $\Delta_{c.u}$ для каждого средства измерения и сделать вывод о точности проведённых измерений по условию:

$$\Delta_{\Sigma} \leq \Delta_{c.u}; \quad (13)$$

Таблица 13

Обозначение измеренного размера	Результат однократного измерения (показание средства измерения), мм					Результат измерения \bar{X} , мм	Суммарная погрешность однократного измерения $\Delta_{\Sigma i}$, мм	Суммарная погрешность результата измерения Δ_{Σ} , мм
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
D								
d								

Обозначение измеренного размера	Результат измерения с учетом погрешности $\bar{x} \pm \Delta_{\Sigma}$, мм	Суммарная погрешность измерения Δ_{Σ} , мм	Систематическая погрешность средства измерения Δ_c , мм	Случайная погрешность измерения Δ , мм	Предельная погрешность измерения данным средством измерения Δ_i , мм
D					
d					

8. На эскизе детали указать числовые значения измеренных размеров, округлённые по ГОСТ 6636 с учётом значения размера. Такой округлённый размер будет называться номинальным размером. Общее положение для округления: для наружных размеров значение округляем до ближайшего большего стандартного значения; для внутренних размеров – до ближайшего меньшего стандартного значения. Желательно проводить округление в пределах половины миллиметра. Например, среднее арифметическое – 17,55 мм округляем до 18 мм. А среднее арифметическое 17,05 – до 17 мм, т. е. до ближайшего меньшего. При округлении размеров лучше посоветоваться с преподавателем или учебным мастером.

9. Дать заключение о точности проведённых измерений и состоянии средств измерения.

10. Освоить технику измерения электронным микрометром.

Теоретическая часть

Средства измерения с цифровым отсчетным устройством

Штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством

ГОСТ 166 предусматривает изготовление штангенциркулей с отсчетом по круговой шкале и штангенциркулей с цифровым электронным отсчетным устройством (рис. 40). Такие штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних линейных размеров и для разметки деталей. Результат измерения определяется по цифровому отсчетному устройству.

В штангенциркулях с цифровым электронным отсчётным устройством (рис. 41) вдоль штанги располагается многозначная мера, по которой полностью отсчитывается величина перемещения подвижной рамки, выводимая на дисплей.



Рис. 40. Штангенциркуль с цифровым электронным отсчётным устройством

Большинство таких штангенциркулей имеют возможность подключения к микропроцессору для проведения обработки результатов измерений и определению статистических характеристик.

До начала измерений следует проверить нулевую установку штангенциркуля. Для этого сдвигают его измерительные губки до соприкосновения друг с другом. При этом показание на цифровом отсчетном устройстве должно быть нулевым. Если показание не нулевое, то его можно обнулить, нажав на кнопку «zero» или кратковременно нажав на кнопку включения.

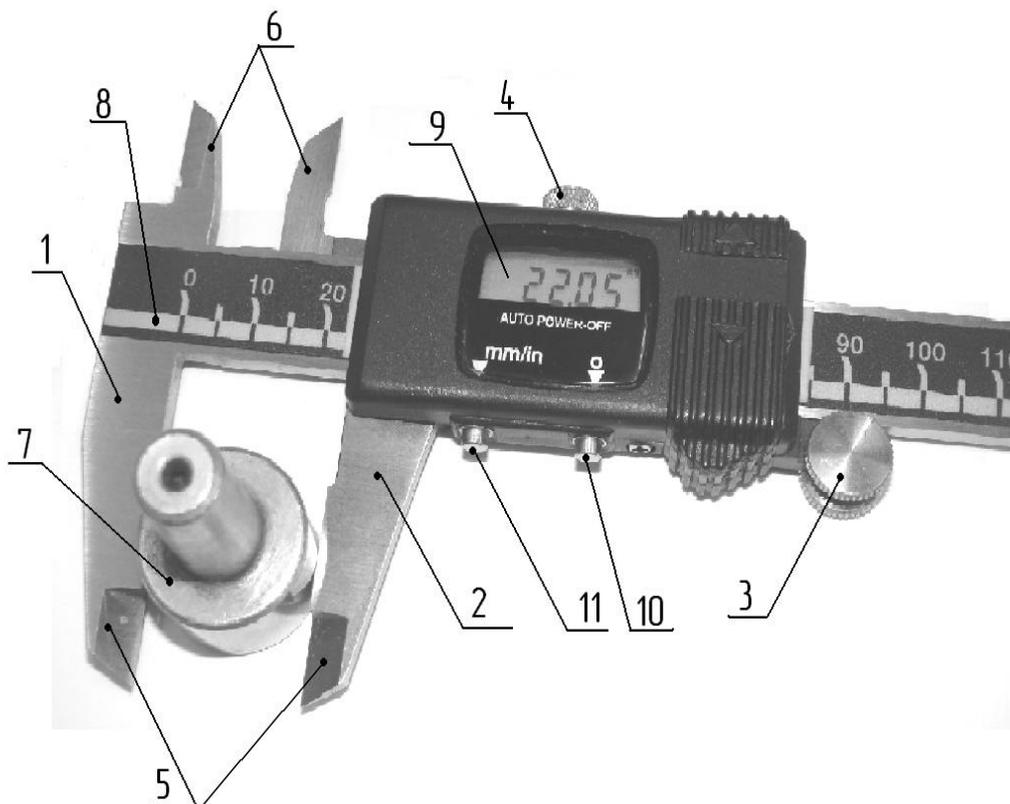


Рис. 41. Штангенциркуль с электронным отсчётным устройством типа ШЦЦ:
 1 – штанга с неподвижной губкой; 2 – рамка с подвижной губкой; 4 – винт для стопорения рамки; 5 – губки для наружных измерений; 6 – губки для внутренних измерений; 7 – измеряемая деталь; 8 – шкала штанги; 9 – дисплей; 10 – включатель питания; 11 – переключатель единиц измерения

Измерение штангенциркулем с электронным отсчетным устройством происходит аналогично нониусному штангенциркулю, но отсчет сразу выводится на дисплей.

Диапазон измерений, шаг дискретности цифрового отсчётного устройства штангенциркулей должны соответствовать указанному в ГОСТ 166 (табл. 15).

Питание штангенциркулей с цифровым отсчетным устройством должно осуществляться от встроенного источника питания.

Питание штангенциркулей, имеющих вывод результатов измерения на внешнее устройство, должно осуществляться от встроенного источника питания и (или) от сети общего назначения через блок питания.

Конструкция штангенциркулей с цифровым отсчетным устройством должна обеспечивать правильность показаний при наибольшей допустимой скорости перемещения рамки не менее 0,5 м/с.

Таблица 15

Диапазон измерения штангенциркуля	Шаг дискретности цифрового отсчётного устройства, мм
0–125	0,01
0–135	
0–150	
0–160	
0–200	
0–250	
0–300	
0–400	
0–500	

Микрометр с цифровым отсчетным устройством

Выпускают микрометры с цифровым отсчётом результата для измерения наружных размеров.

На рис. 42 изображен микрометр с шагом дискретности 0,001 мм – при отсчете показаний по электронному цифровому отсчетному устройству и шкалам стебля и барабана.

Измерение микрометром с цифровым отсчетным устройством аналогично микрометру гладкому, но отсчет сразу выводится на дисплей. Перед началом измерений проверяется установка микрометра «на нуль». Для этого сдвигают его измерительные губки до соприкосновения друг с другом. При этом показание на цифровом отсечном устройстве должно быть нулевым. Если показание не нулевое, то его можно обнулить, нажав на кнопку «zero» или временно нажав на кнопку включения.



Рис. 42. Микрометр с цифровым отсчетным устройством

Контрольные вопросы

- 1) Что называется измерением?
- 2) Какие методы измерения используются в данной работе?
- 3) Назовите основные метрологические характеристики использованных в работе средств измерения.
- 4) Объясните устройство и укажите область применения средств измерения, которые были использованы в работе.
- 5) Как проверить правильность показаний микрометра, микрометрического нутромера?
- 6) Какие погрешности называют систематическими, случайными?
- 7) Что такое суммарная погрешность измерения и как она определяется?
- 8) Что такое предел допускаемой погрешности средства измерения и предельная погрешность измерения?
- 9) В каких документах указана систематическая погрешность средства измерения?
- 10) Как настроить на требуемый размер микрометрический нутромер?
- 11) Как правильно измерить размер нутромером?

Лабораторная работа № 4

Измерение размеров средствами измерений с цифровым отсчетным устройством

Цель: получение практических умений и навыков освоения техники измерения штангенциркулем и микрометром с цифровым отсчетным устройством.

Задание

Ознакомиться с устройством штангенциркуля и микрометра с цифровым отсчетным устройством, их метрологическими характеристиками. Научиться обрабатывать результаты измерений. Научиться работать с нормативной документацией:

- 1) РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.
- 2) ГОСТ 166—89 (ИСО 3599-76). Штангенциркули. Технические условия
- 3) ГОСТ 6507 – 90. Микрометры. Технические условия.
- 5) Гост 6636 Нормальные линейные размеры.

Этапы выполнения

1. Произвести измерения (рис. 43), указаны наименования средств измерения, которыми следует измерять размеры:
 - а) штангенциркулем с цифровым отсчетным устройством наружного d диаметра детали;
 - б) микрометром с цифровым отсчетным устройством длину L детали.
2. Обработать результаты измерений и дать заключение о погрешности измерений.

Оборудование, инструменты, приспособления

Штангенциркуль с электронным отсчетным устройством по ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76), микрометр с электронным отсчётным устройством по ГОСТ 6507-90.

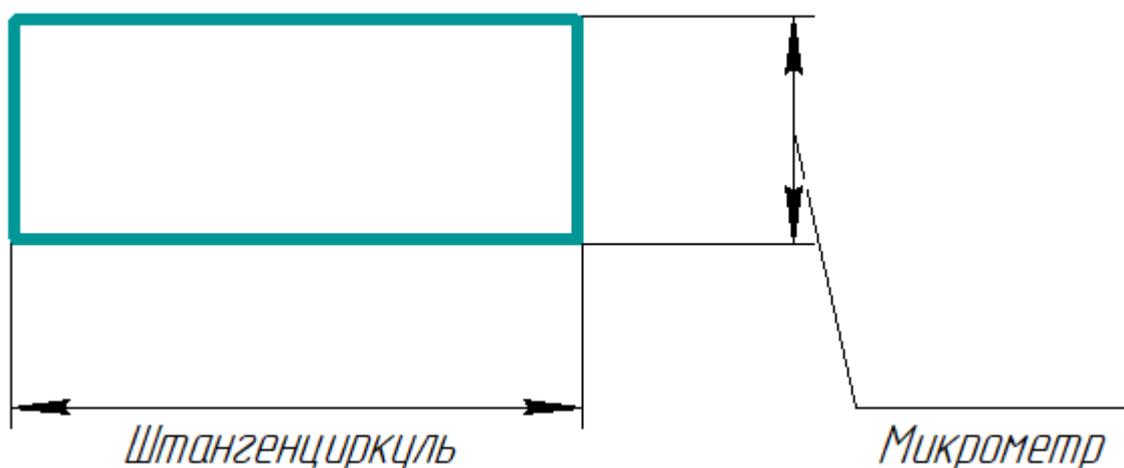


Рис. 43. Эскиз детали для измерения

Порядок проведения работы

1. Выполнить эскиз детали.
2. Ознакомиться со средствами измерения и занести в табл. 16 их метрологические характеристики. Систематическая погрешность применяемых средств измерения указывается в паспорте на средство измерения. При отсутствии паспортов средств измерения систематическую погрешность рекомендуется принимать по табл. 17 (только в учебных целях). Значения Пределов допускаемых погрешностей средств измерения выписать из нормативной документации для штангенциркуля из ГОСТ 166, для микрометра из ГОСТ 6507.
3. Проверить нулевую установку штангенциркуля.

4. Произвести измерение штангенциркулем наружной поверхности детали пять раз в одном и том же месте. Результаты измерений занести в табл. 18.

При измерениях всеми средствами измерений при обнаружении значения, резко отличающегося от остальных, произвести дополнительные измерения и, если отличающееся значение не повторится, исключить его как грубую ошибку.

Таблица 16

Наименование средства измерения	Цена деления j, мм	Диапазон измерения, мм	Систематическая погрешность Δ_c , мм	Предел допускаемой погрешности средства измерения $\Delta_{си}$, мм
Штангенциркуль с ЦОУ				
Микрометр с ЦОУ				

Таблица 17

Наименование средства измерения	Систематическая погрешность Δ_c , мм
Штангенциркуль с ЦОУ	+0,002
Микрометр с ЦОУ	- 0,002

5. Проверить нулевую установку и произвести измерение размера микрометром пять раз. Результаты измерений занести в табл. 18.

Обработка результатов измерений размеров микрометрическими средствами согласно ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

1. Определить значение каждого измеренного размера как среднее арифметическое из всех измерений:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n . \quad (14)$$

Результаты занести в табл. 18.

2. Определить среднеквадратическое отклонение, характеризующее рассеяние (разброс) результатов измерений относительно среднего для каждого измеренного размера:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 / (n-1)} . \quad (15)$$

3. Провести анализ полученных результатов на наличие грубой погрешности измерения. Обращать внимание следует на наибольшее и наименьшее значения. Если возникнут сомнения относительно размера, который значительно отличается от остальной совокупности, следует провести проверку этого ре-

зультата по критерию Шовине, так как число измерений $n \leq 10$. Проверку проводим по условию:

$|\bar{X} - x_i| \geq k \cdot \sigma$ – подозрительное значение отбрасывается и не учитывается при обработке результатов;

$|\bar{X} - x_i| < k \cdot \sigma$ – значение учитывается при дальнейшей обработке результатов,

где k – коэффициент, зависящий от числа измерений, табл. 18.

В случае, когда значение будет отброшено, следует пересчитать среднее арифметическое (14) и среднее квадратическое (15). Результаты пересчёта записать в табл. 19, а отброшенное значение зачеркнуть;

Таблица 18

Количество измерений n	3	6	8	10
Коэффициент k	1,6	1,7	1,9	2,0

4. Определить суммарную погрешность каждого однократного измерения $\Delta_{\Sigma i}$ как разность между результатом этого измерения и средним арифметическим значением:

$$\Delta_{\Sigma i} = x_i - \bar{X}. \quad (16)$$

За суммарную погрешность окончательного результата измерения Δ_{Σ} принять наибольшее абсолютное значение из погрешностей однократных измерений:

$$\Delta_{\Sigma} = |\Delta_{\Sigma i}|_{\text{нб}}. \quad (17)$$

Суммарная погрешность измерения состоит из совокупности систематических и случайных погрешностей:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_c + \Delta. \quad (18)$$

5. Определить случайную погрешность измерения и записать в табл. 20:

$$\Delta = \Delta_{\Sigma} - \Delta_c ; \quad (19)$$

6. Результаты вычислений занести в табл. 19. Предельную погрешность измерения данным средством измерения для соответствующего диапазона размеров взять из РД 50-98-86.

Результаты всех вычислений занести в табл. 20. Предельную погрешность измерения данным средством измерения для соответствующего диапазона размеров в учебных целях взять для штангенциркуля с цифровым отсчетным устройством $\pm 0,006\text{мм}$, для микрометра с цифровым отсчетным устройством $\pm 0,005\text{мм}$.

7. Сравнить полученное значение суммарной погрешности измерения с предельной погрешностью измерения для каждого средства измерения и сделать вывод о точности проведённых измерений по условию:

$$\Delta_{\Sigma} \leq \Delta_{и}. \quad (20)$$

Таблица 19

Обозначение измеренного размера	Результат однократного измерения (показание средства измерения), мм					Результат измерения \bar{X} , мм	Суммарная погрешность однократного измерения $\Delta_{\Sigma i}$, мм	Суммарная погрешность результата измерения Δ_{Σ} , мм
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅			
d								
L								

Таблица 20

Обозначение измеренного размера	Результат измерения с учетом погрешности $\bar{X} \pm \Delta_{\Sigma}$, мм	Суммарная погрешность измерения Δ_{Σ} , мм	Систематическая погрешность средства измерения Δ_c , мм	Случайная погрешность измерения Δ , мм	Предельная погрешность измерения данным средством измерения $\Delta_{и}$, мм
d					
L					

8. На эскизе детали указать числовые значения измеренных размеров, округлённые по ГОСТ 6636 с учётом значения размера. Такой округлённый размер будет называться номинальным размером. Общее положение для округления: для наружных размеров значение округляем до ближайшего большего стандартного значения; для внутренних размеров – до ближайшего меньшего стандартного значения.

При округлении размеров лучше посоветоваться с преподавателем или учебным мастером.

9. Дать заключение о точности проведённых измерений и состоянии средств измерения.

10. Освоить технику измерения штангенциркулем с электронным отсчётным устройством.

Теоретическая часть

Поверка средств измерений

Термины и определения

Согласно ФЗ «Об обеспечении единства измерений»:

- поверка средств измерений (далее также – поверка) – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям;

- калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

Согласно РМГ-29-2013 *поверка* (средств измерений) – установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям. В VIM3 [19] используется термин верификация – предоставление объективных свидетельств того, что данный объект полностью удовлетворяет установленным требованиям. Объектом верификации может быть, например, процесс, методика измерений, материал, вещество или средство измерения. Термины «поверка средства измерения» и «верификация», применительно к средству измерения, являются синонимами.

Основной метрологической характеристикой, определяемой при поверке средств измерений, является их погрешность, которая находится путем сравнения поверяемого средства измерений с эталоном.

Под проверкой средства измерения понимается определение погрешности средства измерения и установление его пригодности к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия установленным требованиям.

Основной метрологической характеристикой любого средства измерения, определяемой при поверке, является его погрешность. Как правило, она находится на основании сравнения поверяемого средства измерения с образцовым или эталоном, т. е. с более точным средством, предназначенным для проведения поверки.

Поверке подлежат средства измерений утвержденного типа, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Результаты поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений,

действительны в течение установленных для средств измерений интервалов между поверками (далее – межповерочный интервал).

Срок действия межповерочного интервала исчисляется с даты поверки средства измерения. Датой поверки средства измерений считается день окончания работ по выполнению процедур, предусмотренных методикой поверки (далее – методика поверки).

Контрольные вопросы

- 1) Что называется измерением?
- 2) Назовите основные метрологические характеристики использованных в работе средств измерения.
- 3) Объясните устройство и укажите область применения средств измерения, которые были использованы в работе.
- 4) Как проверить правильность показаний штангенциркуля и микрометра с цифровым отсчетным устройством и что делать если показания не нулевые?
- 5) Какие погрешности называют систематическими, случайными, грубыми?
- 6) Что такое суммарная погрешность измерения и как она определяется?
- 7) Что такое предел допускаемой погрешности средства измерения и предельная погрешность измерения?
- 8) В каких документах указана систематическая погрешность средства измерения?

Лабораторная работа № 5 Определение погрешности микрометра

Цель: получение практических умений и навыков определения погрешность микрометра.

Задание

Ознакомиться с набором плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД), определить их метрологические характеристики; освоить методику составления блоков концевых мер длины на заданные размеры; определить погрешность микрометра; научиться работать с нормативной документацией:

- 1) Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / А. И. Аристов [и др.]. – Москва: Академия, 2008. – 384 с. [21].
- 2) ГОСТ 8.051-81 ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.
- 3) ГОСТ 6507-90 Микрометры. Технические условия.
- 4) ГОСТ 9038-90 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия [20].
- 5) РД 50-98-86 Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм.

Этапы выполнения

1. Ознакомиться с назначением, конструкцией и техническими требованиями:

- плоскопараллельных концевых мер длины;
- микрометра гладкого.

Выписать метрологические характеристики гладкого микрометра типа МК в табл. 21 и Технические и метрологические характеристики набора концевых мер длины в табл. 22.

2. Выписать из табл. 23 значения точек шкалы микрометра, в которых будет определяться его погрешность в соответствии с заданным вариантом.

3. По заданным размерам блоков концевых мер длины определить расчётом размеры мер, из которых будут состоять блоки.

4. Составить блоки концевых мер заданных размеров.

5. Измерить блоки концевых мер и определить погрешность микрометра.

6. Сделать вывод о возможности применения микрометра для измерений.

Оборудование, инструменты, приспособления

Набор плоскопараллельных концевых мер длины 3-го класса точности, микрометр гладкий типа МК 2-го класса точности, ветошь.

Порядок проведения работы

Погрешность каждого средства измерения определяется при его поверке в нормальных условиях. Если погрешность превышает допустимый предел, установленный нормативным документом, средство измерений признаётся негодным для применения в данном классе точности.

Таблица 21

Наименование средства измерения	Тип или модель	Цена деления j , мм	Диапазон измерения, мм	Диапазон показаний, мм	Предел допускаемой погрешности микрометра $\Delta_{пр}$, мм (ГОСТ 6507)

Таблица 22

Номер набора	Количество мер в наборе	Градация мер, мм	Номинальная длина мер, мм	Количество мер	Предел допускаемой погрешности меры по ГОСТ 9038 Δ пр, мм	Класс точности

Погрешность микрометра, определяемая в работе, является только частью комплекса действий, осуществляемых при поверке любого средства измерения. Для определения погрешности микрометра используют концевые меры длины в виде блоков и отдельных мер. Плоскопараллельные концевые меры длины (сокращённо ПКМД) выполняют в виде прямоугольного параллелепипеда или цилиндрического стержня с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями (рис. 44). Основные размеры и параметры концевых мер длины и технические требования к ним изложены в ГОСТ 9038. ПКМД [20] поставляют в наборах определённых номеров и россыпью по заказам.

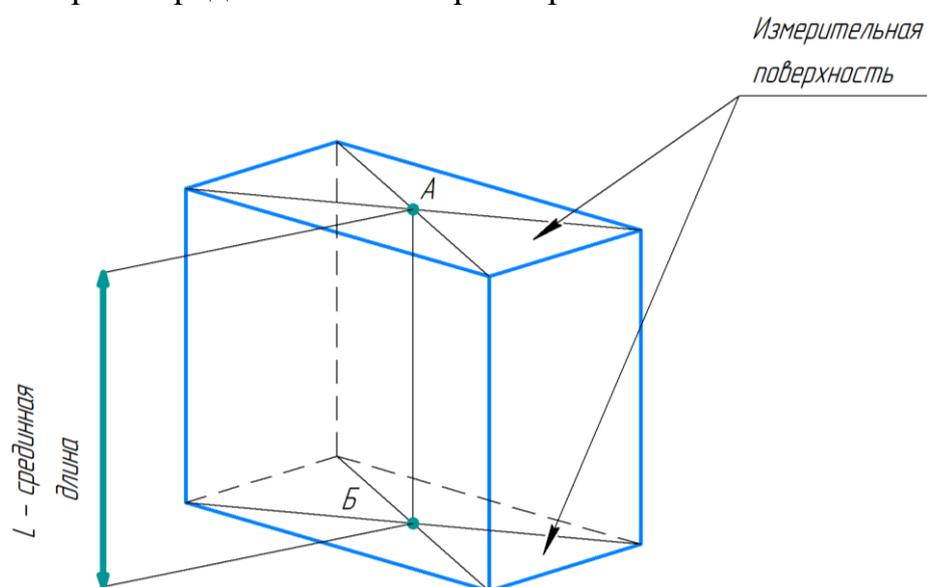


Рис. 44. Определение средней длины концевой меры

За номинальный размер концевой меры длины принимают её срединную длину, которая определяется как длина перпендикуляра АБ (рис. 44), опущенного из середины одной из измерительных поверхностей концевой меры на

противоположную измерительную поверхность. Этот размер указывается на каждой концевой мере.

Обе измерительные поверхности отличаются от других поверхностей ПКМД малой шероховатостью (среднее арифметическое отклонение профиля $Ra \leq 0,016$ мкм).

Поверка микрометра производится по точкам, равномерно расположенным как по шкале стебля, так и по шкале барабана. В учебных целях допущены некоторые отклонения от этого положения (табл. 23).

Таблица 23

Вариант задания	Диапазон измерения микрометра	Рекомендуемые точки шкалы, в которых производится поверка
1	0–25	5,12; 10,24; 15,36; 21,50; 25,00
2		6,15; 11,26; 15,40; 21,00; 25,00
3	25–50	31,12; 35,24; 41,36; 45,50; 50,00
4		31,00; 35,12; 40,24; 44,55; 50,00

Погрешностью микрометра является разность результата измерения и истинного (действительного) значения измеряемой величины:

$$\Delta = x_i - X_i, \quad (7.1)$$

где x_i – i -е значение результата измерения; X_i – истинное значение измеряемой величины.

В данной лабораторной работе истинное значение измеряемой величины материализуется в виде блока концевых мер длины или отдельной меры соответствующего размера. Собранный блок является эталоном, хранящим и воспроизводящим единицу длины и имеющим ничтожно малую погрешность, которой можно в работе пренебречь.

Примечание: предел допускаемой погрешности микрометра $\Delta_{пр}$ принимается вместо систематической (основной) погрешности СИ в связи с отсутствием паспорта или свидетельства о поверке.

Расчёт блоков концевых мер длины:

1) значения размеров блоков и отдельных мер в зависимости от диапазона измерений поверяемого микрометра записать в табл. 24 из табл. 23;

Таблица 24

Диапазон измерения поверяемого микрометра	Размер блока или меры, соответствующие точкам измерения	Размеры концевых мер, входящих в блок

2) определить размеры концевых мер длины, из которых будут состоять блоки мер, и результаты записать в табл. 24.

Пример. Требуется собрать блок размером 67,34 мм из набора мер № 1 или № 3:

- первая мера должна содержать тысячные доли миллиметра (если они есть в размере);

- вторая – сотые и, если возможно, десятые в зависимости от имеющегося набора так, чтобы остаток представлял целое число с десятичными долями (0,5 мм);

- этот остаток покрывается одной или двумя мерами.

Таким образом, блок будет состоять из следующих мер:

$$1,34 + 6,00 + 60,000 = 67,34;$$

3) из имеющегося набора ПКМД вынуть нужные меры и положить их на сухую чистую ветошь, каждую отдельно друг от друга;

4) перед составлением блока меры следует очистить от смазки, протерев их сухой мягкой тканью.

Составление блоков концевых мер длины

Составление блока заданного размера заключается в притирке концевых мер между собой на молекулярный контакт.

Для этого измерительную поверхность одной меры наложить на измерительную поверхность другой меры не более чем на одну треть длины и с лёгким нажимом надвигать вдоль до полного совмещения плоскостей. Меры малого размера лучше накладывать крест-накрест и развёртывать одну относительно другой, слегка вдавливая их до полного совмещения плоскостей.

Притирку лучше начинать с мер малого размера, последовательно притирая к ним меры большего размера.

После составления первого блока следует его измерить, записать результат, разобрать и собрать следующий.

Измерение микрометром блоков мер:

1) проверить настройку микрометра на ноль.

Любое микрометрическое средство перед измерениями должно быть проверено на правильность показаний (установка ноля);

2) измерить один раз блок концевых мер. Записать в табл. 24 размер блока или меры и показание микрометра. Отсчёт результата измерения должен сниматься со шкалы микрометра с точностью не выше 0,005 мм (т.е. половины цены деления шкалы барабана);

3) далее повторить всё для остальных блоков и результаты записать в табл. 25.

Обработка результатов измерений

Обработка результатов заключается в определении:

- погрешности микрометра $\Delta\Sigma$ и её сравнения с пределом допускаемой погрешности $\Delta_{пр}$, установленным нормативным документом на микрометр.

- систематической погрешности измерений;
- случайной погрешности измерения.

Суммарная погрешность каждого однократного измерения блока мер или меры $\Delta\Sigma_i$ определяется как разность между результатом измерения x_i и размером измеренного блока V_i или меры M_i :

$$\Delta\Sigma_i = x_i - V_i \text{ или } \Delta\Sigma_i = x_i - M_i. \quad (21)$$

Результаты записать в табл. 25. За погрешность микрометра принимается наибольшее абсолютное значение из погрешностей однократных измерений. Это значение указывается в свидетельстве о поверке с тем знаком, который получился в результате расчёта по формуле (21).

Сделать заключение о возможности применения микрометра для измерений по условию (22):

$$\Delta\Sigma \leq \Delta_{пр}, \quad (22)$$

где $\Delta\Sigma$ – наибольшая (без учёта знака) погрешность из всех проведённых измерений (табл. 24); $\Delta_{пр}$ – предел допускаемой погрешности микрометра по ГОСТ 6507 в зависимости от его диапазона измерений и класса точности.

Таблица 25

Размер блока V_i или меры M_i , мм	Показание микрометра $x_{iизм}$, мм	Суммарная погрешность из измерения $\Delta\Sigma$, мкм	Предел допускаемой погрешности микрометра $\Delta_{пр}$, мкм по ГОСТ 6507	Вывод о возможности применения микрометра для измерений во втором классе точности

Контрольные вопросы

- 1) Для каких целей применяют наборы концевых мер?
- 2) Как определить годность микрометра для измерений?
- 3) Что такое предел допускаемой погрешности средства измерения?
- 4) Что такое поверка средства измерения?

Лабораторная работа № 6 Поверка многооборотного индикатора

Цель: получение практических умений и навыков проведения поверки многооборотного индикатора типа 2-МИГ и сделать заключение о возможности его применения для измерений.

Задание

Ознакомиться с конструкцией индикатора и особенностями снятия отсчёта по шкалам; ознакомиться с порядком проведения поверки индикатора; произвести поверку индикатора на всём диапазоне показаний и на заданном участке; сделать вывод о возможности применения индикатора для измерений; ознакомиться с литературой:

- 1) ГОСТ 8.260-77 Поверка рычажно-зубчатых головок [16].
- 2) ГОСТ 9038-90 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия [20].
- 3) ГОСТ 9696-82 Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия [17].
- 4) ГОСТ 10197-70 Стойки и штативы для измерительных головок. Технические условия [18].
- 5) РМГ 29-99 Метрология. Основные термины и определения.

Этапы проведения:

- 1) ознакомиться с устройством индикатора многооборотного (тип 2 МИГ) и его метрологическими характеристиками (ГОСТ 9696);
- 2) произвести поверку индикатора многооборотного типа 2-МИГ с использованием концевых мер длины;
- 3) обработать результаты измерений и определить погрешность индикатора;
- 4) дать заключение о годности индикатора многооборотного для измерений.

Оборудование, инструменты, приспособления

Многооборотный индикатор типа 2-МИГ, набор плоскопараллельных концевых мер длины ПКМД (ГОСТ 9038), стойка С-III с круглым столом (ГОСТ 10197).

Порядок проведения работы

Плоскопараллельные концевые меры длины (допускается термин «концевые меры») предназначены для хранения и передачи единицы длины от эталона до изделия.

Концевые меры длины являются основным средством сохранения единиц мер в машиностроении. С их помощью поверяются, проверяются, градуируются и устанавливаются на размер средства измерения.

В лабораторной работе используются концевые меры длины третьего класса точности. При этом систематическая погрешность концевых мер не учитывается при определении погрешности индикатора ввиду её малости.

Метрологические характеристики набора №1 плоскопараллельных концевых мер длины из стали по ГОСТ 9038 приведены в табл. 26.

Таблица 26

Номинальное значение длины меры, мм	Градация размеров, мм	Количество мер в наборе	Класс точности набора
1.005; 0.5; 1.0	-	По 1	0,1,2,3
Св. 1.0 до 1.5	0.01	51	
Св. 1.6 до 2	0.1	5	
Св. 2.5 до 10	0.5	17	
Св. 20 до 100	10	9	

В работе используется стойка по ГОСТ 10197 с круглым столом типа С-III (рис. 45).

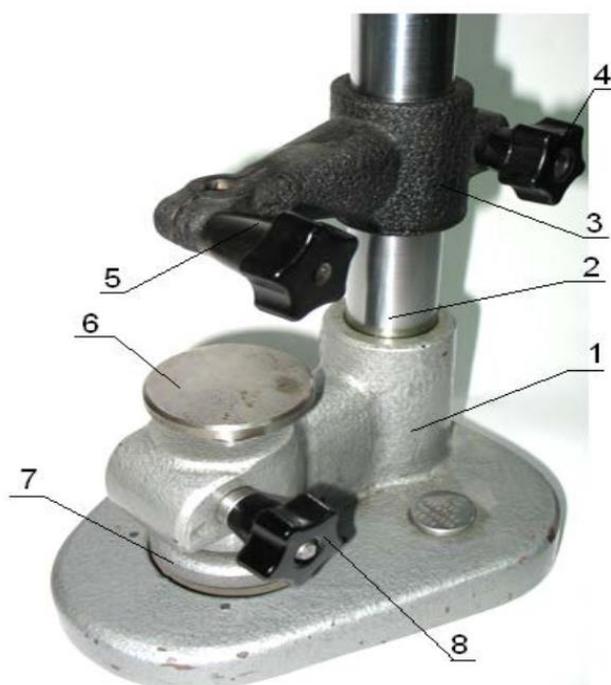


Рис. 45. Стойка С-III с круглым столом:

1 – основание; 2 – колонка; 3 – кронштейн; 4, 5, 8 – винты зажима;
6 – измерительный столик; 7 – гайка

Стойка состоит из основания 1 (рис. 45), колонки 2, кронштейна 3, измерительного столика 6, гайки 7 и винтов зажима 4, 5 и 8.

Гайка 7 предназначена для тонкой регулировки положения стола 6 по высоте. Вращение гайки 7 по часовой стрелке на один оборот соответствует подъёму стола на 0.5 мм. В кронштейне 3 имеется отверстие для установки измерительной головки с присоединительным диаметром 8 мм.

Индикатор многооборотный типа 2-МИГ ГОСТ 9696-82

Многооборотными индикаторами называют отсчётные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки и имеющие шкалу, по которой отсчитывают величины перемещений наконечника.

В качестве отдельного измерительного устройства многооборотные индикаторы использоваться не могут. Они предназначены для установки в специальные устройства, где требуется отсчитывать какие-либо перемещения. Наибольшее распространение получили индикаторы, имеющие зубчатые, рычажно-зубчатые и пружинные преобразующие устройства. Очень широко на производстве используются зубчатые индикаторы, которые называют индикаторами часового типа. Однако с метрологической точки зрения правильное их название «индикаторы с зубчатой передачей».

Индикаторы многооборотные осевого действия, в которых передаточный механизм состоит из рычажных и зубчатых передач, называют *рычажно-зубчатыми индикаторами* (рис. 46).

В таких индикаторах входные пары (ведущие звенья) являются рычажными передачами, а ведомые звенья – зубчатыми передачами. Рычажные передачи позволяют повысить точность индикатора, так как рычажную передачу можно изготовить с большей точностью, чем зубчатую, и очень важно, что регулировкой плеч рычажной передачи можно компенсировать погрешности изготовления не только рычагов, но и зубчатых передач.

В зависимости от диапазона показаний рычажно-зубчатые индикаторы разделяют на однооборотные и многооборотные.

Используемый в работе многооборотный индикатор типа 2 МИГ представлен на рис. 46. Диапазон его показаний – 2 мм, цена деления $j = 0,002$ мм.

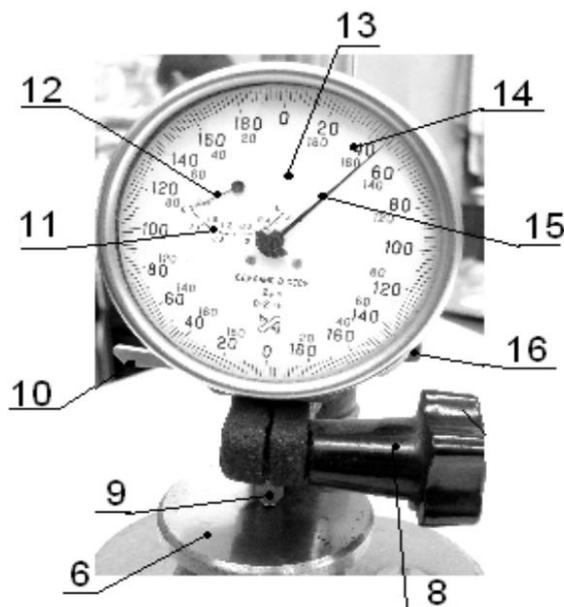


Рис. 46. Внешний вид многооборотного индикатора типа 2-МИГ:
 6 – измерительный столик; 9 – измерительный наконечник; 10 – арретир;
 11 – шкала отсчёта (в мм) перемещений измерительного наконечника ($j=0,2$ мм); 12 – указатель (стрелка); 13 – многооборотный индикатор типа 2-МИГ (рычажно-зубчатая измерительная головка); 14 – шкала отсчёта (в мкм) перемещений измерительного наконечника ($j = 0,002$ мм); 15 – указатель (стрелка); 16 – винт установки указателя 15 на нужное оцифрованное деление шкалы 14 или на ноль

Индикатор имеет преобразующий механизм, состоящий из трёх рычажных и одной зубчатой передач (рис. 47). Измерительный стержень 9 плоской поверхностью контактирует со сферой малого плеча рычага 17 первой рычажной передачи. Большое плечо рычага 17 контактирует с рычагом 22, который передаёт движение зубчатому сектору 23. Сектор зацепляется с трибом 26, на оси которого закреплён указатель (стрелка) 15. Триб 26 зацепляется с трибом 20, на котором закреплена стрелка 12 для отсчёта перемещений в миллиметрах измерительного наконечника 9. На оси триба 20 закреплена спиральная пружина (волосок) 18, создающая измерительную силу и обеспечивающая зацепление зубчатой передачи (сектор 23 – триб 26) по одной стороне профиля зубьев независимо от направления движения измерительного стержня. Весь механизм с рычажными и зубчатой передачами (кроме триба 26) смонтирован на одной плате 19, которая может поворачиваться вокруг оси 25. Такое устройство позволяет поворотом платы с помощью винта 16 установить стрелку 15 на ноль шкалы или нужное оцифрованное деление шкалы.

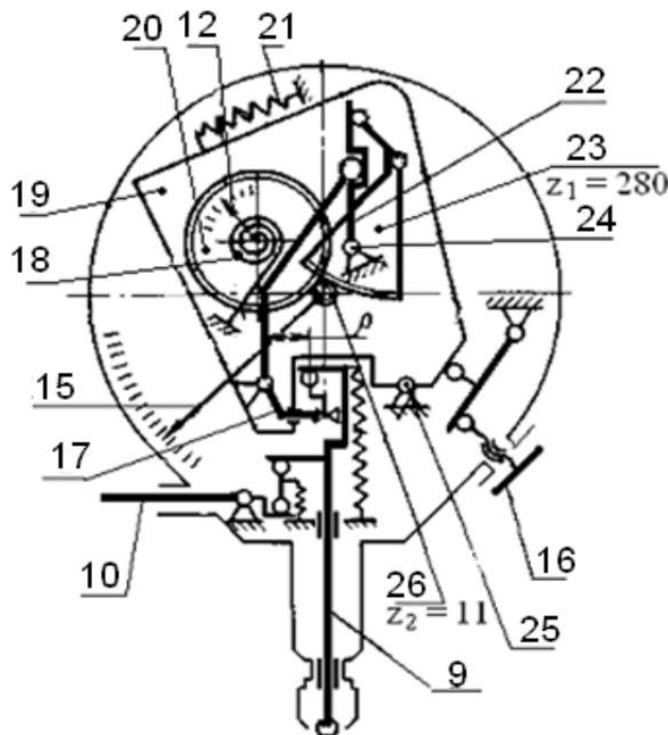


Рис. 47. Схема многооборотного индикатора типа 2-МИГ:

9 – измерительный стержень; 10 – арретир; 12 – указатель перемещений измерительного наконечника; 15 – указатель (стрелка); 16 – винт регулировки положения стрелки 15; 17 – рычажная передача; 18 – спиральная пружина; 19 – плата; 20 – триб; 21 – пружина; 22 – рычажная передача; 23 – зубчатый сектор; 24 – ось поворота рычага 22; 25 – опора поворота платы 19; 26 – триб

Подъём (арретирование) измерительного наконечника 9 осуществляется арретиром (рычагом) 10, воздействующим на верхнюю часть измерительного стержня.

Шкала 14 (рис. 46) разделена на 200 делений. Следовательно, один оборот стрелки 15 соответствует перемещению измерительного стержня 9 на 0,4 мм. Шкала имеет два нулевых штриха: положение стрелки 15 на верхней нулевой отметке соответствует размеру, значение которого указывает малая стрелка 12 (0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0), а на нижнем нулевом штрихе – промежуточным значениям (0,2; 0,6; 1,0; 1,4; 1,8).

Правила отсчёта по шкалам многооборотного индикатора (рис. 48):

1) снять отсчёт целых и десятых долей миллиметра по малой шкале 11. В первом случае – 1,4 мм, во втором – 0,8 мм;

2) снять отсчёт микрометров по шкале 14. Отсчёт производится следующим образом: снимаются десятки и сотни микрометров по оцифрованным делениям и к ним прибавляется количество микрометров, полученное умножением числа делений после оцифрованного на цену деления шкалы.

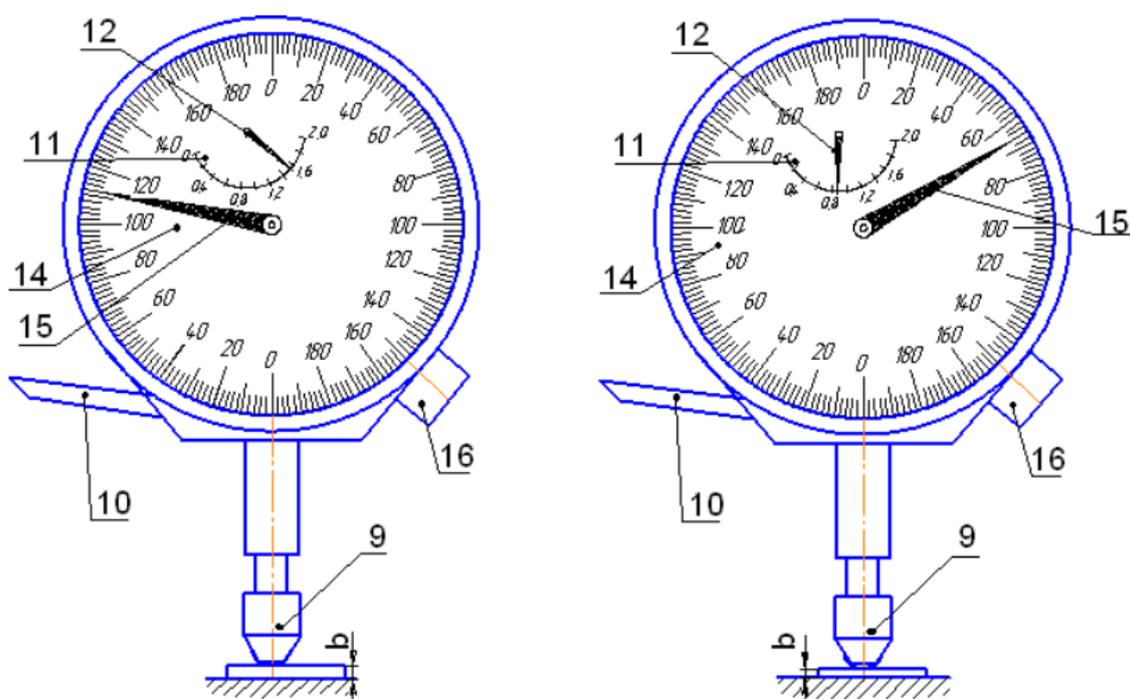


Рис. 48. Пример снятия отсчёта со шкалы многооборотного индикатора

Пример 1. На первой (правой) головке по малой шкале 11 снимаем целые и десятые доли миллиметров – 1,4 мм. По шкале 14 снимаем отсчёт – 100 мкм и прибавляем к ним (6 делений · 2 мкм) = 12 мкм. Значение первого измеренного размера – $1,4 + 0,1 + 0,012 = 1,512$.

Пример 2. На второй головке по малой шкале 11 снимаем отсчёт – 0,8 мм. По шкале 14 снимаем отсчёт – (60 мкм + 3 дел. · 2 мкм) = 66 мкм. Значение второго измеренного размера – $0,8 + 0,060 + 0,006 = 0,866$.

Поверка многооборотного индикатора (2-МИГ)

При проведении поверки необходимо соблюдать условия: температура окружающей среды $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$; изменение температуры в течение часа не должно превышать двух градусов. Для проведения измерительных работ используются стойка и концевые меры длины.

Порядок и содержание поверки:

1) при внешнем осмотре должно быть установлено соответствие 2-МИГ требованиям ГОСТ 9696-82. Штрихи и цифры должны быть чёткими, с ровными краями. Стекло должно быть прозрачным, чистым и без пузырей. Конеч стрелки должен перекрывать короткие штрихи шкалы не менее чем на 0,3 мм и не более чем на 0,8 мм их длины. На рабочей поверхности не должно быть царапин, забоин и следов коррозии;

2) при осмотре необходимо убедиться, что перемещение измерительного стержня 2-МИГ происходит правильно, без задержек и заеданий. В нерабочем состоянии стрелка 2-МИГ находится слева от оси измерительного стержня на расстоянии 40–50 делений. Общий ход измерительного стержня у 2-МИГ должен превышать рабочий ход не менее чем на 0,2 мм;

3) шероховатость измерительной поверхности наконечника определить сличением с образцами шероховатости. Она должна быть $Ra \leq 0,08$;

4) высоту расположения стрелки 15 (рис. 49) над шкалой 14 определить по параллаксу стрелки относительно штрихов шкалы, производя поворот прибора вокруг оси CD, параллельной стрелке, приблизительно на угол 45° .

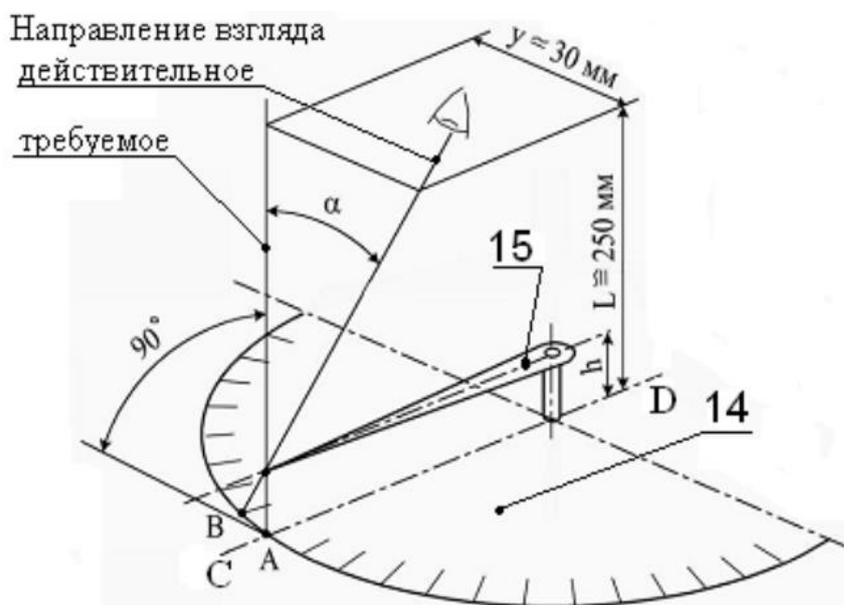


Рис. 49 Схема, поясняющая появление погрешности от параллакса

При этом параллакс не должен превышать 0,5 деления. Высота расположения стрелки над шкалой не должна превышать 0,7 мм. При снятии отсчёта наблюдатель может отклониться от нормального (90°) направления взгляда на шкалу и в связи с этим вместо отсчёта А по шкале снимет отсчёт В. Следовательно, погрешность отсчёта из-за параллакса составит величину АВ.

$\Delta B = \delta$ – погрешность отсчёта; $\delta / y = h / L$, где y – возможное смещение глаза наблюдателя, $y \approx 30$ мм; h – высота указателя (стрелки) над шкалой; L – расстояние «наилучшего зрения» $L = 250$ мм. Отсюда погрешность параллакса: $\delta = (h \cdot y) / L = (h \cdot 30) / 250 = 0,12 \cdot h$;

4) определить размах показаний индикатора.

Размах – мера рассеяния показаний средства измерения, определяемая как алгебраическая разность наибольшего и наименьшего результатов отсчёта по индикатору, снятых после каждого арретирования. Для определения размаха показаний:

- установить индикатор 13 в кронштейн 3 (рис. 50) и закрепить его зажимным винтом 5 (сильно не затягивать);

- отодвинуть зажимной винт 4 и опустить кронштейн 3 по колонке 2 до соприкосновения измерительного наконечника 9 со столиком 6. Закрепить зажимной винт 4;

- поднять столик 6 гайкой 7 при отданном зажимном винте 8 для создания натяга от 0,6 до 0,8 мм (для индикатора с диапазоном показаний от 0 до 2 мм) таким образом, чтобы стрелка 15 находилась в пределах пяти – семи делений шкалы от нулевого штриха. Закрепить столик в этом положении зажимным винтом 8;

- установить стрелку 15 измерительной головки на ноль шкалы 14 вращением винта 16 (рис. 50).

Определить размах показаний арретированием измерительного наконечника. При арретировании измерительный наконечник 9 отвести нажатием на арретир 10 на 0,4–0,6 мм и свободно (не бросать) опустить под действием пружины. Измерения повторить десять раз и результаты каждого отсчёта записать в табл. 27. Допускается снимать отсчёт с точностью до половины цены деления, при этом положение глаз оператора должно быть примерно постоянным по отношению к шкале многооборотного индикатора.

Размах показаний определяют как разность наибольшего и наименьшего показаний. Он не должен превышать 0,001 мм. Результат определения размаха показаний записать в табл. 27.

Таблица 27

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показание измерительной головки после арретирования x_i , мм										
Размах показаний R , мм										

Определение погрешности многооборотного индикатора типа 2-МИГ с помощью концевых мер длины

Определение погрешности на всём диапазоне показаний

Для этих измерений используется стойка с закреплённым в ней поверяемым многооборотным индикатором 13 типа 2-МИГ (рис. 50) и набор концевых мер длины.

Поверка производится в следующей последовательности:

1) установить многооборотный индикатор 13 в кронштейн 3 и закрепить зажимным винтом 5 (сильно не затягивать) (рис. 50);

2) отдать зажимной винт 4, аккуратно опустить кронштейн 3 с головкой 13 до касания измерительного наконечника 9 со столиком 6 и закрепить кронштейн зажимным винтом 4;

3) вращая гайку 7 при отданном зажимном винте 8 установить столик 6 так, чтобы стрелка 12 индикатора показывала ноль. Вторую стрелку 15 установить на ноль винтом регулировки 16;

4) поднять арретиром 10 и опустить измерительный стержень 9 три или четыре раза. Если стрелка 2-МИГ после этого отклонилась от нулевой отметки шкалы, следует повернуть её регулировочным винтом 16 и установить на ноль. После этого снова провести арретирование и убедиться в том, что стрелка устанавливается на ноль;

5) поднять аккуратно арретиром измерительный стержень и установить на столик 6 стойки первую концевую меру 27 размером 0,5 мм из набора мер (рис. 50);

6) опустить измерительный стержень и снять отсчёт со шкалы. Результат отсчёта занести в табл. 28;

7) повторить измерения, устанавливая концевые меры: 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0 мм. Последняя концевая мера должна соответствовать наибольшему размеру, который можно измерить установленным в стойку индикатором без изменения его относительного положения (перемещения с кронштейном по колонке). Результаты измерений записать в табл. 28;

8) определить погрешность каждого измерения как разность между отсчётом по шкале индикатора и соответствующим ему размером концевой меры;

9) значение погрешности 2-МИГ на всём диапазоне показаний определяется как наибольшая абсолютная разность между отсчётом по шкале индикатора и соответствующим ему размером концевой меры (табл. 28).

Таблица 28

Размер концевой меры b_i , мм (для 2-МИГ)	0	0,5	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0
Отсчёт по шкале 2-МИГ, мм											
Погрешность i -го измерения b_i , мм											
Погрешность многооборотного индикатора типа 2-МИГ, мм, на всём диапазоне показаний											

Определение погрешности многооборотного индикатора типа 2-МИГ на заданном участке

По заданию преподавателя определить погрешность индикатора на заданном участке шкалы в пределах от 1,1 до 1,4 мм (заданный размер концевой меры b_i).

Определение погрешности вести в следующей последовательности:

1) установить на столик концевую меру, размер которой на 0,05 мм меньше заданного размера b_i (рис. 50). Поднять арретиром 10 и опустить измерительный стержень 9 три или четыре раза. Установить стрелку на оцифрованное деление шкалы 13, соответствующее размеру установленной концевой меры. Результат записать в табл. 29;

2) поочередно устанавливая концевые меры, отличающиеся друг от друга на 0,01 мм, измерять их, (используя арретир), снимать отсчёт по шкалам индикатора и заносить в табл. 29 результаты определения погрешности.

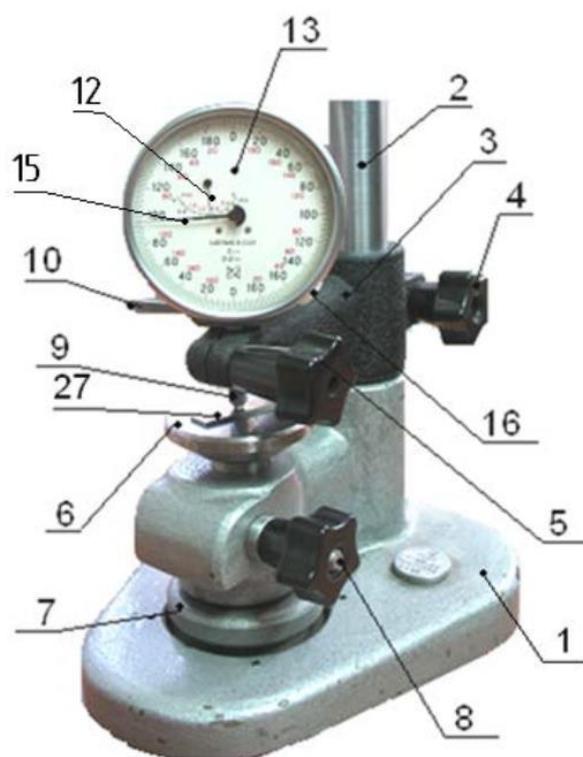


Рис. 50. Проверка многооборотного индикатора типа 2-МИГ с помощью концевых мер длины: 1 – основание; 2 – колонка; 3 – кронштейн; 4, 5, 8 – стопоры; 6 – измерительный столик; 7 – гайка; 9 – измерительный наконечник; 10 – арретир; 13 – измерительная головка; 16 – винт регулировки положения стрелки 15; 27 – концевая мера

Таблица 29

Размер концевой меры b , мм	$b_{i-0,05}$	$b_{i-0,04}$	$b_{i-0,03}$	$b_{i-0,02}$	$b_{i-0,01}$	b_i	$b_{i+0,01}$	$b_{i+0,02}$	$b_{i+0,03}$	$b_{i+0,04}$	$b_{i+0,05}$
Отсчёт по шкале, мм											
Отклонение, мм											
Погрешность многооборотного индикатора типа 2-МИГ, мм, на участке шкалы											
<i>Примечание.</i> Размер b_i задаёт преподаватель											

За погрешность 2-МИГ следует принять наибольшую абсолютную разность между отсчётом по шкале индикатора и соответствующим ему размером концевой меры.

Контрольные вопросы

- 1) С какой целью производится поверка средств измерения?
- 2) Для чего применяется многооборотный индикатор типа 2-МИГ?
- 3) Объясните устройство многооборотного индикатора типа 2-МИГ.
- 4) Назовите основные метрологические характеристики многооборотного индикатора типа 2-МИГ.
- 5) Для чего используют концевые меры длины?
- 6) В чём отличие диапазона показаний и диапазона измерений?
- 7) В связи с чем возникает погрешность параллакса?
- 8) Объясните сущность определения погрешности многооборотного индикатора типа 2-МИГ при его поверке с использованием концевых мер длины.
- 9) Как определить значение измеренного размера по показаниям шкал многооборотного индикатора типа 2-МИГ?

Список используемой литературы:

1. РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения.
2. ГОСТ 16504 Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
3. РМГ 29-99 Метрология. Основные термины и определения
4. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (Правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1: Основные положения и определения.
5. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
6. ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
7. ГОСТ Р ИСО 5727-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений Ч.1: Основные положения и определения.
8. ИСО 3534-1-2019 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей.
9. ГОСТ 166 Штангенциркули. Технические условия.
10. ГОСТ 162 Штангенглубиномеры. Технические условия.
11. ГОСТ 5378 Угломеры с нониусом. Технические условия.
12. Гост 6636 Нормальные линейные размеры.
13. РД 50-98-86 Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм.
14. ГОСТ 6507-90 Микрометры. Технические условия.
15. ГОСТ 10-88 Нутромеры микрометрические. Технические условия.
16. ГОСТ 8.260-77 Поверка рычажно-зубчатых головок.
17. ГОСТ 9696-82 Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия.
18. ГОСТ 10197-70 Стойки и штативы для измерительных головок. Технические условия.
19. JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM3).
20. ГОСТ 9038-90 Мера длины концевые плоскопараллельные. Технические условия.
21. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / А. И. Аристов [и др.]. – Москва: Академия, 2008. – 384 с.
22. ГОСТ 8.051-81 ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Методические указания к проведению лабораторных занятий	5
Содержание лабораторного практикума	5
Порядок выполнения лабораторных работ	5
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ	6
Основные понятия об измерениях, средствах измерения, погрешностях	6
Термины и определения	6
Средства измерения линейных размеров	13
Нониусные средства измерения	13
Общие сведения о нониусных средствах измерения	13
Штангенциркуль	15
Штангенглубиномер	19
Угломер	21
Микрометрические средства измерений	25
Общие сведения	25
Микрометр	27
Микрометрический нутромер	33
Лабораторная работа № 1 Конструкции и метрологические характери- стики средств измерения	40
Лабораторная работа № 2 Измерение размеров нониусными средствами измерений	41
Лабораторная работа № 3 Измерение размеров микрометрическими средствами измерения	46
Лабораторная работа № 4 Измерение размеров средствами измерений с цифровым отсчетным устройством	52
Лабораторная работа № 5 Определение погрешности микрометра	58
Лабораторная работа № 6 Поверка многооборотного индикатора	63
Список используемой литературы	74

Учебное издание

Перетятко Сергей Борисович

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Редактор Е. Билко

Подписано в печать 22.1.2022 г. Формат 60x84 (1/16).
Уч.-изд. л. 6,1. Печ. л. 4,8. Тираж 30 экз. Заказ № 95

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1