

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра систем управления и информационных технологий в строительстве

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине

«Методы и средства измерений, испытаний и контроля»

**для студентов очного и заочного отделения, направления 27.03.02 Управление
качеством профиль: «Энергетический менеджмент в строительстве и
промышленности»**

Часть 1

Воронеж 2021

УДК 53.083:338.4(07)
ББК 30.607я723

Составители:

канд. техн. наук И.В. Поцбнева

Методы и средства измерений, испытаний и контроля: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для студентов направления 27.03.02 Управление качеством профиль: «Энергетический менеджмент в строительстве и промышленности» / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: И.В. Поцбнева. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 28 с.

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» разрабатывались на основе требований ФГОС с опорой на научные принципы формирования содержания образования. Данное пособие отражает актуальные направления 27.03.02 Управление качеством профиль: «Энергетический менеджмент в строительстве и промышленности».

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ЛР _ МиСИиКч1

Ил.12. Табл. 3. Библиогр.: 4 назв.

УДК 53.083:338.4(07)

ББК 30.607я723

Рецензент - И. В. Фатеева, канд. экон. наук, доцент кафедры инноватики и строительной физики имени профессора И.С. Суровцева Воронежского государственного технического университета

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Измерения – это способ познания окружающего мира. Средства и методы измерений постоянно развивались и продолжают развиваться. По мере развития цивилизации измерения совершенствовались как в качественном, так и в количественном отношении. Повсеместное внедрение компьютерной и микропроцессорной техники и всесторонняя автоматизация производственного процесса увеличили поток ежедневно выполняемых измерений до нескольких миллиардов. В таких современных отраслях промышленности, как радиоэлектронное приборостроение, авиакосмическая, химическая и других на измерения затрачивается значительная часть общественного труда и материальных ресурсов (до 40% от общих трудозатрат).

Измерения в настоящее время оказывают существенное влияние на качество производимой продукции и товаров, на технологические возможности производства того или иного продукта. С другой стороны, развитие измерительной техники, ее состояние в той или иной стране или на каком-либо предприятии свидетельствуют об уровне их технического и экономического состояния. Если обратиться к стандарту ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования», то там вопросам измерения уделяется большое внимание. Процессный подход и непрерывное улучшение означают, что все процессы должны быть измеряемыми. Там, где необходимо обеспечить имеющие законную силу результаты, измерительное оборудование должно быть откалибровано или поверено в установленные периоды или перед его применением по образцовым эталонам».

В названии курса фигурируют три ключевые слова: измерение, контроль и испытание. При измерении какую-то величину сравнивают с единицей измерения. Например, если единица длины – метр, то при измерении определяют длину стены в метрах. Контроль по существу – это проверка. При контроле необходимо сделать заключение – соответствуют ли количественные или качественные показатели изделия установленным требованиям. При испытаниях определяют, обеспечивается ли нормальное функционирование изделия в условиях эксплуатации в течение установленного времени. В предлагаемом методическом издании будут рассмотрены вопросы, касающиеся инструментальных методов и технических средств для выполнения измерений, испытаний и контроля качества продукции, услуг и производства.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 **ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ И** **ИЗМЕРЕНИЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Цель работы: изучение электроизмерительных приборов, используемых в практических работах, выполняемых на стенде. Получение представлений о

пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

Краткие теоретические сведения

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки α прямо пропорционален измеряемому току I : $\alpha = K \times I$. Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки α здесь пропорционален квадрату тока: $\alpha = K \times 2I$. Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений. Для измерений токов и напряжений в цепях переменного тока применяются также приборы выпрямительной системы. Такие приборы содержат выпрямительный преобразователь и магнитоэлектрический измерительный механизм. Они имеют более линейную шкалу, чем приборы электромагнитной системы и достаточно широкий частотный диапазон.

Для практического использования стрелочного измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. **Предел измерений** – это наибольшее значение электрической величины, которое может быть измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора. Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений. Ценой деления прибора называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора C легко определяется как отношение предела измерений $A_{\text{НОМ}}$ к числу делений шкалы N :

$$C = A_{\text{НОМ}}/N \quad (1.1)$$

На лицевой стороне стрелочных прибора указывается класс точности, который определяет приведенную относительную погрешность прибора $\gamma_{\text{пр}}$.

Приведенная относительная погрешность прибора – это выраженное в процентах отношение максимальной для данного прибора абсолютной погрешности ΔA к номинальному значению прибора (пределу измерений) $A_{\text{ном}}$:

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Промышленность в соответствии с ГОСТ выпускает приборы с различными классами точности (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0).

Зная класс точности прибора, можно определить абсолютную ΔA и относительную погрешности измерения $\gamma_{\text{изм}}$, а также действительное значение измеряемой величины A_d :

$$\Delta A = \frac{\gamma_{\text{пр}} \cdot A_{\text{ном}}}{100}; \gamma_{\text{изм}} = \frac{100 \cdot \Delta A}{A}; A_d = A \pm \Delta A \quad (1.3)$$

Расчетную относительную погрешность измерения в любой точке шкалы прибора можно определить, полагая, что его допустимая абсолютная погрешность ΔA известна и постоянна:

$$\gamma_{\text{изм}} = \frac{100 \cdot \Delta A}{A_{\text{изм}}} \quad (1.4)$$

где $A_{\text{изм}}$ – условное измеренное значение величины, задаваемое в пределах шкалы прибора от минимального значения до номинального значения данного прибора. Обратит внимание на значение относительной погрешности измерения, соответствующее предельному значению измеряемой величины, и сравнить его с классом точности прибора.

Нетрудно сделать вывод, что относительная погрешность измерения тем больше, чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальным значением прибора. Поэтому желательно не пользоваться при измерении начальной частью шкалы стрелочного прибора.

Для обеспечения малой методической погрешности измерения необходимо, чтобы сопротивление амперметра было значительно меньше сопротивления нагрузки, а сопротивление вольтметра было значительно больше сопротивления исследуемого участка.

В табл. 1.1 приведены некоторые условные обозначения, приводимые на лицевых панелях стрелочных измерительных приборов, определяющие их свойства и условия эксплуатации.

При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые измерительные приборы, например мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. Представление результата измерения происходит на цифровом отсчетном устройстве в виде обычных удобных для считывания десятичных чисел. Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические и светодиодные индикаторы. В лабораторном стенде

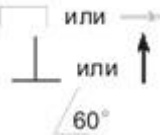
используются цифровые приборы для измерения постоянных и переменных токов, а также цифровой измеритель мощности. Для переключения режима работы цифровых амперметров стенда (РА1, РА2, РА3 и РА4) на его передней панели установлен тумблер, который для измерения постоянного тока следует установить в позицию «=», для измерения действующих значений переменных токов – в позицию «~». Для измерения постоянного тока входная клемма (+) цифрового амперметра выделена красным цветом.

Цифровой измеритель мощности предназначен для измерения параметров электрической цепи:

- действующего значения напряжения U (True RMS) в диапазоне 0...30 В;
- действующего значения тока I (True RMS) в диапазоне 0...300 мА;
- активной мощности P в диапазоне 0...600 Вт;
- частоты f в диапазоне 35...400 Гц;
- $\cos \phi$;
- угла сдвига фаз ϕ (F_i) между током и напряжением.

Таблица 1.1

Условные обозначения, приводимые на лицевых панелях стрелочных измерительных приборов

Условное графическое обозначение	Содержание условного обозначения
A, V, W, Ω , Hz, cos ϕ , F, H	Наименование измеряемой величины (ампер, вольт, ватт, ом, герц, коэффициент мощности, фарада, генри)
	Магнитоэлектрический измерительный механизм
	Электромагнитный измерительный механизм
	Магнитоэлектрический измерительный механизм с выпрямителем
0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0	Класс точности прибора
	Рабочее положение шкалы прибора: горизонтальное; вертикальное; под углом, например 60°
— ~ ~ ≈	Прибор предназначен для работы в цепи постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного; в трехфазной цепи переменного тока
A	A (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой +10°C ...+35°C и влажности до 80% при 30°C;

Б	Б – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой - 30°C ... +40°C и влажности до 90% при 30°C;
B1; B2; B3	В – приборы для полевых и морских условий: B1 – при температуре -40°C ... +50°C и B2 – при температуре -50°C ... +60°C и влажности до 95% при 35°C; B3 – при температуре -40°C ... +50°C и влажности до 98% при 40°C
	Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ
30 – 200 Hz	Рабочий частотный диапазон прибора

Прибор содержит:

– клеммы подачи входного измеряемого сигнала (генератора): клемму «Вх» и общую клемму, клеммы подключения потребителя (нагрузки): клемму «Вых» и общую клемму. Шунт для измерения тока нагрузки подключен между клеммами «Вх» и «Вых»;

– жидкокристаллический четырехстрочный индикатор для вывода информации;

– кнопку «f/cosφ/φ» изменения вывода информации в четвертой строке индикатора (соответственно, частоты, коэффициента мощности cosφ или угла сдвига фаз φ между током и напряжением).

С задней стороны прибора установлены розетка для подключения питания сети и колодка предохранителя.

С помощью кнопки «f/cosφ/φ» можно изменять вывод информации в четвертой строке индикатора. Для вывода требуемого параметра в четвертой строке индикатора кнопку необходимо нажать на 1...2 секунды.

Изменения схемы подключения прибора и лабораторной установки выполнять при выключенном питании прибора.

В противном случае возможны изменения показаний прибора, а также возникновение нарушений в работе индикатора прибора.

Порядок выполнения работы

1. Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов. Для этого внимательно рассмотреть лицевые панели стрелочных амперметров и заполнить табл. 1.2.

Таблица 1.2

Характеристика электроизмерительного прибора

Наименование прибора	Вольтметр №1	Вольтметр №2
Система измерительного механизма		
Предел измерения		
Цена деления		
Минимальное значение измеряемой величины		
Класс точности		
Допустимая погрешность	максимальная	абсолютная
Род тока		

Нормальное положение шкалы		
Прочие характеристики		

2. Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$ для прибора, указанного преподавателем. Сделать вывод о величине относительной погрешности измерения в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора.

3. Измерить величину сопротивления, заданного преподавателем, методом амперметра и вольтметра. Для этого собрать электрическую цепь. Установить тумблер режима работы измерителя тока в позицию «=».

После проверки схемы, включить электропитание и занести полученные данные в табл. 3. Выключить электропитание. Рассчитать, используя закон Ома, величину заданного сопротивления R . Результат занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты

U, В	I, мА	R, Ом

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- технические данные измерительных приборов;
- график зависимости относительной погрешности измерений $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$;
- результаты измерений;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы

- Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
- Что такое предел измерения?
- Как определяется цена деления прибора?
- Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
- Что характеризует класс точности прибора?
- В какой части шкалы прибора измерение точнее и почему?
- Каковы основные достоинства цифровых измерительных приборов?
- Как можно измерить величину сопротивления резистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

Цель работы:

1. Изучить устройство, принцип измерения и метрологические характеристики штангенинструментов.
2. Измерить выданную деталь штангенциркулем.
3. Выполнить эскиз детали с нанесением действительных размеров.

Штангенинструменты

Для измерения линейных размеров абсолютным методом и для воспроизведения размеров при разметке деталей служат штангенинструменты, объединяющие под этим названием большую группу измерительных средств: штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы, штангензубомеры и т.д.

Наиболее распространенным типом штангенинструмента является штангенциркуль. Существует несколько моделей штангенциркулей (ГОСТ 166-80).

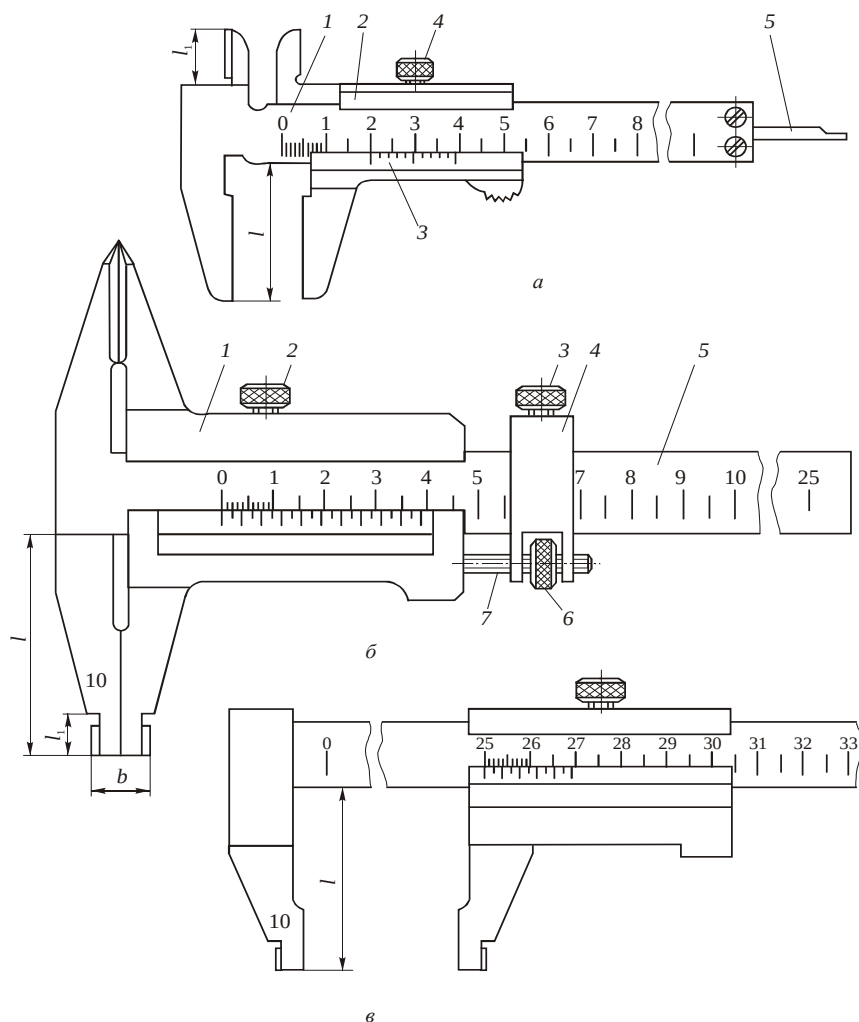


Рис. 2.1. Штангенциркуль

Штангенциркуль ШЦ-I с двусторонним расположением губок (рис.2.1,*а*) для наружных и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин (цена деления нониуса 0,1 мм, предел измерений от 0 до 125 мм) имеет штангу (линейку) 1 с основной шкалой, деления которой нанесены через 1 миллиметр. Штанга имеет неподвижные измерительные двусторонние губки с рабочими поверхностями, перпендикулярными штанге. По линейке перемещается измерительная рамка 2 со второй парой губок; на рамке имеется стопорный винт 4 для ее фиксации в требуемом положении. На измерительной рамке нанесена дополнительная шкала - нониус 3. Наружные размеры измеряют нижними губками, имеющими плоские рабочие поверхности малой ширины. Верхние губки применяют для измерения внутренних размеров. Линейка-глубиномер 5 предназначена для измерения высоты уступов, глубины глухих отверстий и т.п.

Штангенциркуль ШЦ-II с двусторонним расположением губок (рис.2.1,*б*) предназначен для наружных и внутренних измерений и разметочных работ. Состоит из тех же основных деталей, что и ШЦ-I, но имеет вспомогательную рамку микроподачи 4 для точного перемещения рамки 1 по штанге 5. Для этого необходимо предварительно зафиксировать вспомогательную рамку 4 стопорным винтом 3, а затем, вращая гайку 6 по микровинту 7, перемещать измерительную рамку по штанге. Как правило, этой подачей пользуются для точной установки размера на штангенциркуле при разметке. Остроконечные губки штангенциркуля ШЦ-II применяют для разметки или измерения наружных размеров в труднодоступных местах. Нижние губки для измерения внутренних размеров имеют цилиндрические рабочие поверхности. Размер губок в сведенном состоянии обычно бывает равен 10 мм и определяет наименьший внутренний размер, который может быть измерен этим штангенциркулем. При внутренних измерениях к отсчету по шкале следует прибавить размер губок, указанный на их боковой стороне. Штангенциркули типа ШЦ-II имеют нониусы с ценой деления 0,1 и 0,05 мм и пределы измерения 0-160, 0-200, 0-250 мм.

Штангенциркуль ШЦ-III не имеет верхних остроконечных губок и устройства для микроподачи измерительной рамки. Он применяется для наружных и внутренних измерений с помощью таких же, как у ШЦ-II, нижних губок. Цена деления нониуса 0,1 и 0,05 мм, пределы измерений от 0 до 2000 мм.

Штангенглубиномер (рис.2.2) служит для измерения глубин и выступов. Он состоит из основания 1, штанги 6 с основной миллиметровой шкалой, измерительной рамки 3, стопорного винта 2, устройства микрометрической подачи 5, стопорного винта 4, гайки и винта 7 микрометрической подачи и нониуса 8.

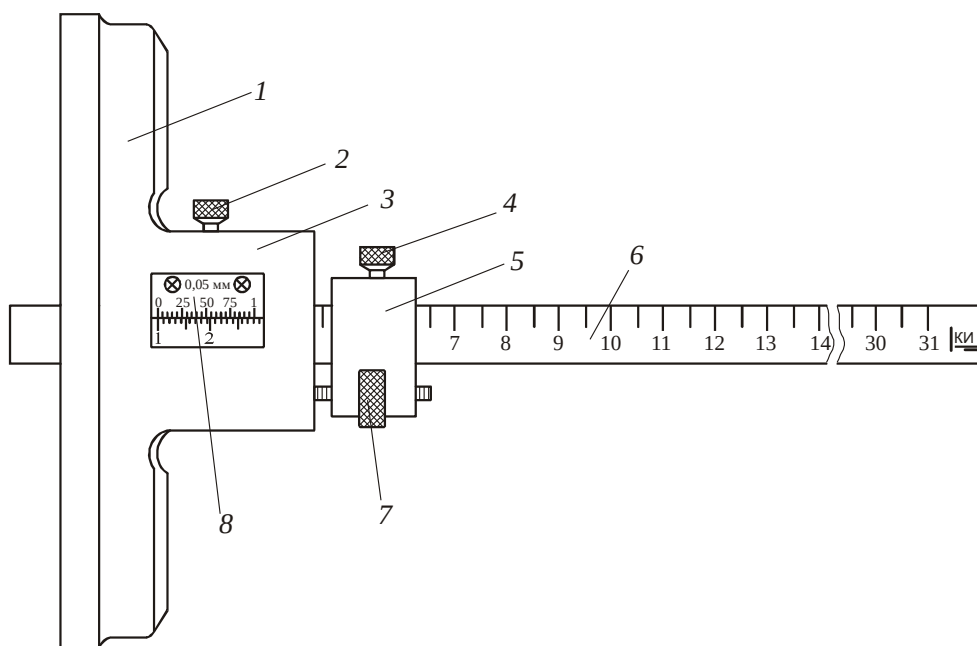


Рис. 2.2. Штангенглубиномер

Выпускаются штангенглубиномеры с ценой деления нониуса 0,05 мм и пределами измерений 0-160, 0-200, 0-250, 0-315, 0-400 мм. По конструкции штангенглубиномер отличается от штангенциркуля отсутствием неподвижных губок на штанге и наличием вместо них основания 1, которое является опорой при измерении глубины. Нулевой размер штангенглубиномер показывает при совмещении торца штанги (линейки) 6 и основания 1.

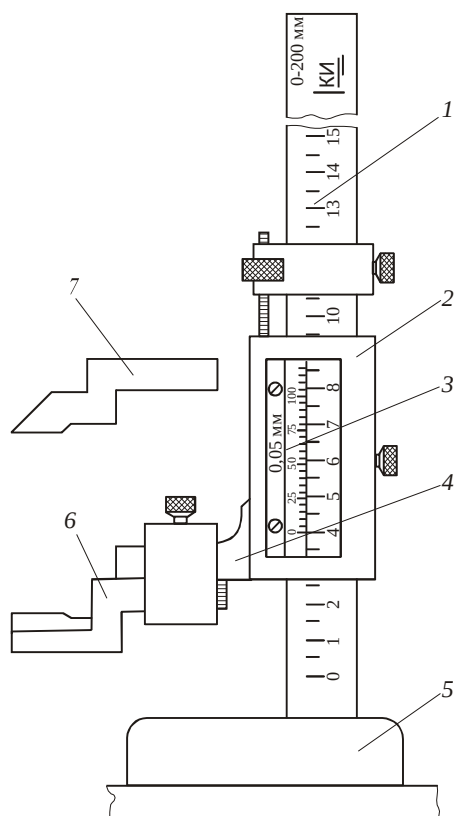


Рис.2.3. Штангенрейсмас

Штангенрейсмас применяют для разметки, но он может быть использован и для измерения высоты деталей, установленных на плите (рис.2.3). Штангенрейсмасы имеют цену деления нониуса 0,1 и 0,05 мм и предел измерений до 2500 мм. Они имеют массивное основание 5 для установки на плите. Перпендикулярно основанию расположена штанга 1 с миллиметровой шкалой. Подвижная рамка 2 с нониусом 3 имеет державку 4 для установки специальной измерительной ножки 6 для измерения высоты или разметочной ножки 7.

При разметке вертикальных поверхностей штангенрейсмас с установленным по шкале и нониусу размером (при этом рекомендуется пользоваться микроподачей рамки) перемещается по плите вдоль размечаемой заготовки. Острие разметочной ножки наносит на поверхность

заготовки горизонтальную линию.

Отсчетное устройство

В основу конструкции отсчетного устройства входят штанга (измерительная линейка) с нанесенной на ней основной шкалой с интервалом деления 1 мм. Каждое пятое деление шкалы штанги отмечено удлиненным штрихом, а каждое десятое – штрихом более длинным с соответствующим числом сантиметров.

По штанге свободно перемещается измерительная рамка, на скосе которой (напротив миллиметровой шкалы штанги) нанесена дополнительная шкала, называемая нониусом. Нониус служит для отсчета дробных долей миллиметра.

Отсчет измерений в нониусном устройстве основан на разности интервалов делений основной шкалы и дополнительно шкалы нониуса. Нониус имеет небольшое число делений n (10, 20 или 50 делений-штрихов). Нулевой штрих нониуса выполняет роль стрелки и позволяет отсчитывать размер в миллиметрах на основной шкале.

Цена деления нониуса c равна цене деления основной шкалы $a=1$ мм, разделенной на число делений шкалы нониуса n :

$$c = a/n \quad (2.1)$$

Применяются нониусы с ценой деления 0,1; 0,05 мм и в редких случаях 0,02 мм. Интервал деления шкалы нониуса b зависит от принятого значения модуля γ , который выбирается из чисел 1; 2; 3; 4 и больше. Но надо иметь в виду, что с увеличением модуля увеличивается длина дополнительной шкалы-нониуса и увеличиваются габаритные размеры всего отсчетного устройства. Интервал деления шкалы нониуса b принимают кратным интервалу деления основной шкалы:

$$b = \gamma \cdot a - c \quad (2.2)$$

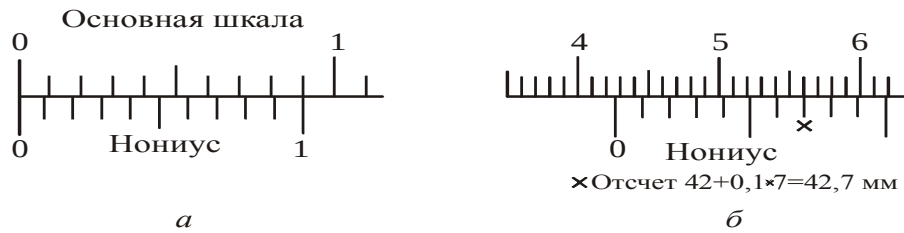
где γ - модуль нониуса, характеризующий растянутость шкалы нониуса или соотношение между значениями интервалов основной шкалы и нониуса.

Длина шкалы нониуса:

$$\lambda = n \cdot b = (\gamma \cdot n - 1) \cdot a \quad (2.3)$$

Для примера возьмем цену деления нониуса $c=0,1$ мм при модуле $\gamma=1$, тогда интервал деления шкалы нониуса $b=1 \cdot 1 - 0,1 = 0,9$ мм. Все последующие штрихи нониуса наносят с таким же интервалом. Из-за того, что интервалы делений нониуса меньше, чем на основной шкале, постепенно накапливается отставание положения штрихов нониуса от штрихов основной шкалы и десятый штрих нониуса совпадает с девятым штрихом основной шкалы (рис.2.4).

Цена деления нониуса $c=0,1$ мм



Цена деления нониуса $c=0,05$ мм

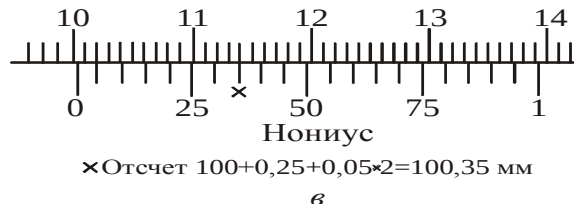


Рис. 2.4. Положения штрихов нониуса

Для удобства отсчета дробных долей миллиметра чаще выпускаются штангенциркули с модулем шкалы нониуса равным 2.

При определении размера детали поступают следующим образом. Если нулевой штрих дополнительной шкалы-нониуса совпал с каким-либо штрихом основной шкалы, то значение измеряемой величины отсчитывают только по основной шкале в мм.

Если же нулевой штрих нониуса не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отсчет получается из двух частей. Целое число в миллиметрах берут по основной шкале слева от нулевого штриха нониуса и прибавляют к нему доли миллиметра, полученные умножением цены деления нониуса на порядковый номер штриха нониусной шкалы, совпавшего со штрихом основной шкалы (рис.2.4,б,в).

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Модель штангенциркуля и его основные метрологические характеристики. Метод измерения.
3. Эскиз детали с действительными размерами.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы штангенциркулей.
2. Модели штангенциркулей, их конструктивные особенности и назначение.
3. Как отсчитываются при измерениях целые и дробные доли миллиметров? Устройство нониуса.
4. Для каких целей маркируется толщина губок у некоторых моделей штангенциркулей?
5. Для чего служит штангенглубиномер?
6. Для чего служит штангенрейсмас?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Цель работы:

1. Изучить устройство, принцип измерения и метрологические характеристики микрометрических инструментов.
2. Измерить деталь гладким микромером и дать заключение о годности детали.

Микрометрические инструменты

Микрометрические инструменты являются широко распространенными средствами измерений наружных и внутренних размеров, глубин пазов и отверстий. Принцип действия этих инструментов основан на применении пары винт-гайка. Точный микрометрический винт вращается в неподвижной микрогайке. От этого узла и получили название эти инструменты.

В соответствии с ГОСТ 6507-78 выпускаются следующие типы микрометров:

- МК – гладкие для измерения наружных размеров;
- МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент;
- МТ – трубные для измерения толщины стенок труб;
- МЗ – зубомерные для измерения длины общей нормали зубчатых колес;
- МВМ, МВТ, МВП – микрометры со вставками для измерения различных резьб и деталей из мягких материалов;
- МР, МРИ – микрометры рычажные;
- МВ, МГ, МН, МН2 – микрометры настольные.

Кроме перечисленных типов микрометров выпускаются микрометрические нутромеры (ГОСТ 10-75 и ГОСТ 17215-71) и микрометрические глубиномеры (ГОСТ 7470-78 и ГОСТ 15985-70).

Практически все выпускаемые микрометры имеют цену деления 0,01 мм. Исключение составляют микрометры рычажные МР, МРЗ и МРИ, имеющие цену деления 0,002 мм. Диапазоны измерений гладких микрометров зависят от размеров скобы и составляют: 0-25, 25-50, ..., 275-300, 300-400, 400-500, 500-600 мм

На рис.3.1,а,б показаны конструкция и схема гладкого микрометра. В отверстиях скобы 1 запрессованы с одной стороны неподвижная измерительная пятка 2, а с другой - стебель 5 с отверстием, которое является направляющей микрометрического винта 4. Микрометрический винт 4 ввинчивается в микрогайку 7, имеющую разрезы и наружную резьбу. На эту резьбу навинчивают специальную регулировочную гайку 8, которая сжимает микрогайку 7 до полного выбора зазора в соединении «микровинт-микрогайка». Это устройство обеспечивает точное осевое перемещение винта относительно микрогайки в зависимости от угла его поворота. За один оборот торец винта перемещается в осевом направлении на расстояние, равное шагу резьбы, т. е. на 0,5 мм. На микрометрический винт надевается барабан 6, закрепляемый установочным колпачком-гайкой 9. В колпачке-гайке

смонтирован специальный предохранительный механизм 12, соединяющий колпачок-гайку 9 и трещотку 10, за нее и необходимо вращать барабан 6 при измерениях. Предохранительный механизм-трещотка, состоящий из храпового колеса, зуба и пружины, в случае превышения усилия между губками 500-900 сН отсоединяет трещотку 10 от установочного колпачка 9 и барабана 6, и она начинает проворачиваться с характерным пощелкиванием. При этом микрометрический винт 4 не вращается. Для закрепления винта 4 в требуемом положении микрометр снабжен стопорным винтом 11.

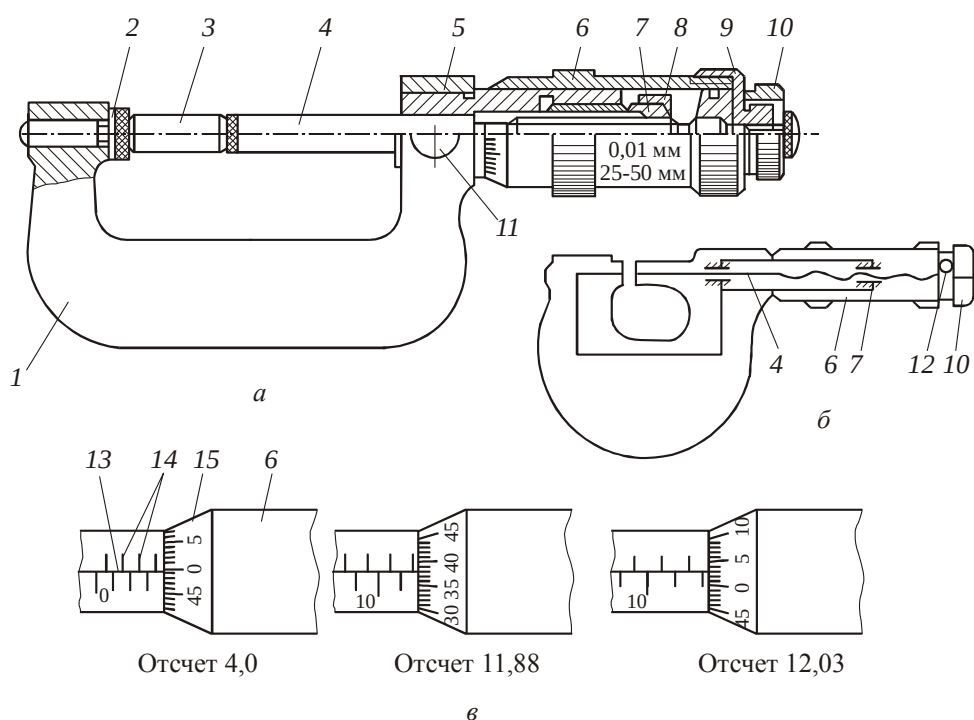


Рис. 3.1. Конструкция и схема гладкого микрометра

На стебле 5 микрометра нанесена шкала 14 с делениями через 0,5 мм. Для удобства отсчета четные штрихи нанесены выше, а нечетные - ниже сплошной продольной линии 13, которая используется для отсчета углов поворота барабана. На коническом конце барабана нанесена круговая шкала 15, имеющая 50 делений. Если учесть, что за один оборот барабана с пятьюдесятью делениями торец винта и срез барабана перемещают на 0,5 мм, то поворот барабана на одно деление вызовет перемещение торца винта, равное 0,01 мм, т.е. цена деления на барабане 0,01 мм.

При снятии отсчета пользуются шкалами на стебле и барабане. Срез барабана является указателем продольной шкалы и регистрирует показания с точностью 0,5 мм. К этим показаниям прибавляют отсчет по шкале барабана (рис.3.1,в).

Перед измерением следует проверить правильность установки на нуль. Для этого необходимо за трещотку вращать микровинт до соприкосновения измерительных поверхностей пятки и винта или соприкосновения этих поверхностей с установочной мерой 3 (рис.3.1,а).

Вращение за трещотку 10 продолжают до характерного пощелкивания. Правильной считается установка, при которой торец барабана совпадает с крайним левым штрихом шкалы на стебле и нулевой штрих круговой шкалы барабана совпадает с продольной линией на стебле. В случае их несовпадения необходимо закрепить микровинт стопором 11, отвернуть на пол-оборота установочный колпачок-гайку 9, повернуть барабан в положение, соответствующее нулевому, закрепить его колпачком-гайкой, освободить микровинт. После этого следует еще раз проверить правильность «установки на нуль».

К микрометрическим инструментам относятся также микрометрический глубиномер и микрометрический нутромер.

Микрометрический глубиномер (рис.3.2,*а*) состоит из микрометрической головки 1, запрессованной в отверстие основания 2. Торец микровинта этой головки имеет отверстие, куда вставляют разрезными пружинящими концами сменные стержни 3 со сферической измерительной поверхностью. Сменные стержни имеют четыре размера: 25; 50; 75 и 100 мм. Размеры между торцами стержней выдержаны очень точно. Измерительными поверхностями в этих приборах являются наружный конец сменного стержня 3 и нижняя опорная поверхность основания 2. При снятии отсчета необходимо помнить, что основная шкала, расположенная на стебле, имеет обратный отсчет (от 25 мм до 0).

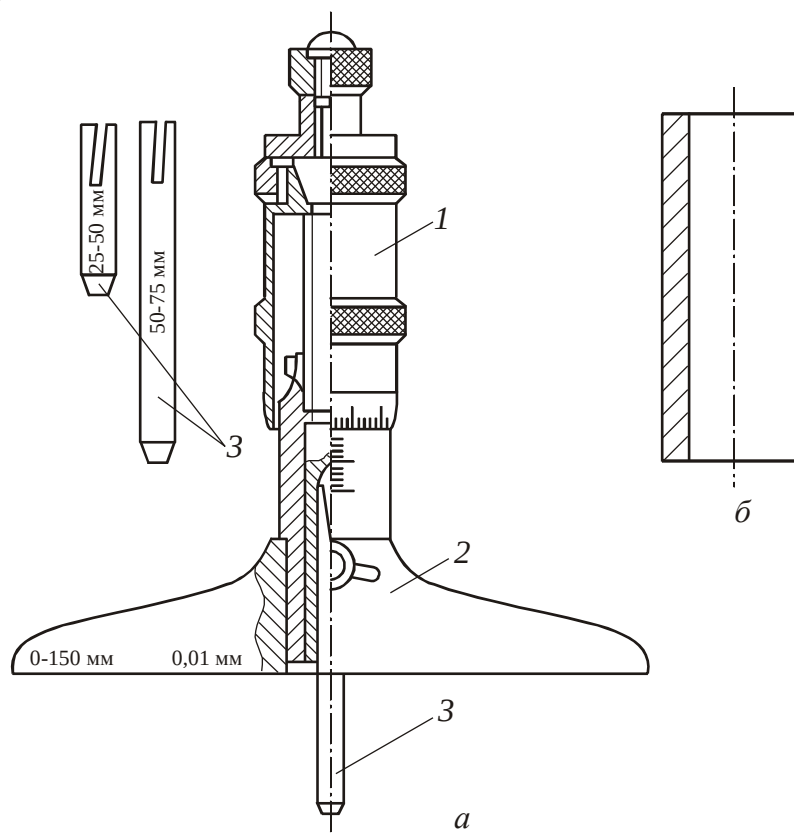


Рис. 3.2. Микрометрический глубиномер

Для настройки глубиномера опорную поверхность основания прижимают к торцу специальной установочной меры (рис.3.2,б), которую ставят на поверочную плиту. Микровинт со вставкой с помощью трещотки доводят до контакта с плитой, фиксируют его стопором и далее проделывают те же операции, что и при настройке на нуль микрометра.

Измерение глубины отверстий, уступов, выточек и т.д. выполняют следующим образом. Опорную поверхность основания микрометрического глубиномера устанавливают на базовую поверхность детали, относительно которой измеряется размер. Одной рукой прижимают основание к детали, а другой вращают за трещотку барабан микрометрической головки до касания стержня с измеряемой поверхностью и пощелкивания трещотки. Затем фиксируют стопором микровинт и снимают отсчет со шкал головки. Микрометрические глубиномеры имеют пределы измерений от 0 до 150 мм и цену деления 0,01 мм.

Микрометрические нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров изделий в диапазоне от 50 до 6000 мм.

Они состоят из микрометрической головки (рис.3.3,а), сменных удлинителей (рис.3.3,б) и измерительного наконечника (рис.3.3,в).

Микрометрическая головка нутромера несколько отличается от головки микрометра и глубиномера и не имеет трещотки. В стебель 6 микрометрической головки с одной стороны запрессован измерительный наконечник 7, а с другой ввинчен микровинт 5, который соединен с барабаном 4 гайкой 2 и контргайкой 1. Наружу выступает измерительный наконечник микровинта 5.

Зазор в соединении винт-гайка выбирается с помощью регулировочной гайки 3, навинчиваемой на разрезную микрогайку с наружной конической резьбой. Установленный размер фиксируется стопорным винтом 9. Для расширения пределов измерения в резьбовое отверстие муфты 8 ввинчиваются удлинители (рис.3.3,б) и измерительный наконечник (рис.3.3,в).

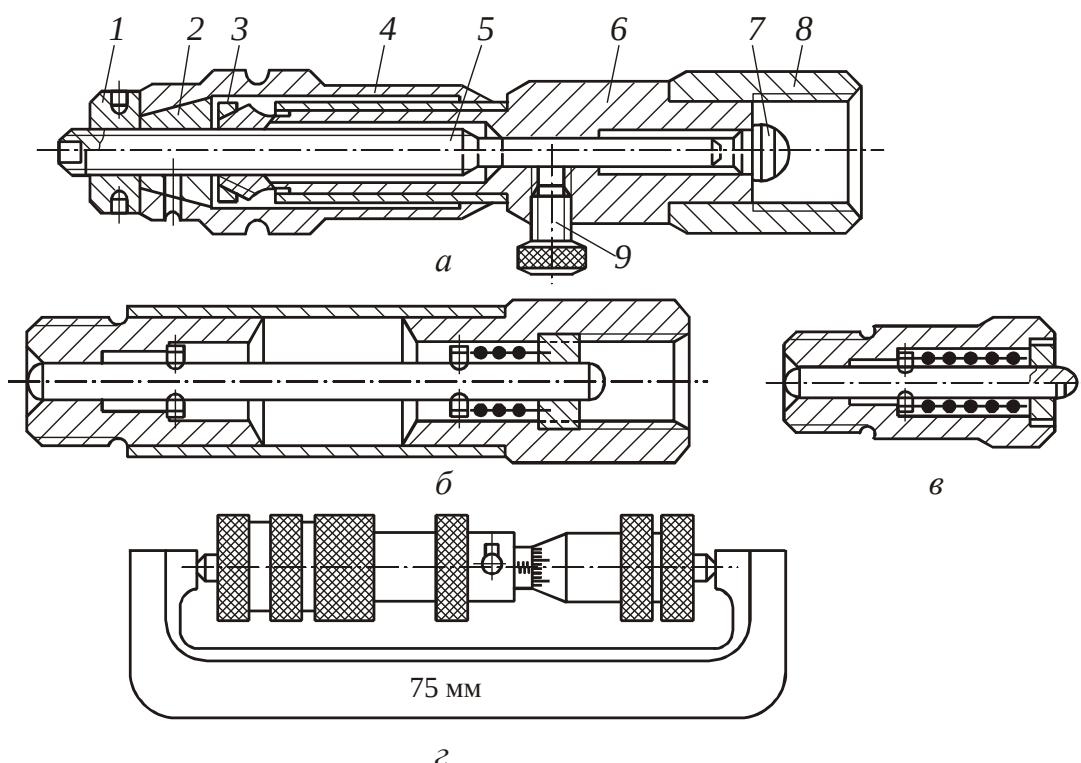


Рис. 3.3. Микрометрические нутромеры

Удлинитель представляет собой стержень со сферическими измерительными поверхностями, имеющий точный размер в осевом направлении. Стержень не выступает за пределы корпуса, на обоих концах которого нарезана резьба. Пружина, расположенная внутри корпуса, создает силовое замыкание стержней между собой при свинчивании удлинителя с микрометрической головкой. На свободный конец удлинителя может быть навинчен другой удлинитель и т. д. до получения нутромера с требуемым пределом измерения. В последний удлинитель ввинчивается измерительный наконечник. В процессе измерения с деталью соприкасаются измерительный наконечник микровинта и измерительный наконечник удлинителя. При использовании нутромера с несколькими удлинителями необходимо помнить, что удлинители следует соединять в порядке убывания их размеров и микрометрическую головку соединить с самым длинным из них.

Микрометрический нутромер в сборе с измерительным наконечником устанавливают на нуль по установочной мере-скобе размером 75 мм (рис.3,г). В случае неудовлетворительной настройки нуля ослабляют на пол-оборота контргайку 1, поворачивают барабан до совпадения нулевой риски с продольной линией стебля, затягивают контргайку 1 и отпускают винт 9. Затем проверяют правильность установки. После настройки нутромера на нуль его свинчивают с удлинителями для получения требуемого размера и приступают к измерениям.

Измерения внутренних размеров нутромером осуществляют следующим образом. Вводят инструмент в пространство между измерительными

поверхностями (например, в отверстие). Устанавливают один измерительный наконечник нутромера на поверхность и вращают барабан головки до касания второго измерительного наконечника противоположной поверхности. В процессе измерения необходимо не только вращать барабан, но еще и покачивать собранный нутромер, измеряя диаметр в плоскости, перпендикулярной к оси отверстия и в плоскости осевого сечения. Наибольший размер в первом положении и наименьший размер во втором положении должны совпадать.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Конструкция и метрологические характеристики гладкого микрометра.

Как читаются показания микрометра при измерениях?

3. Эскиз детали с действительными размерами.
4. Оценка годности деталей.

Контрольные вопросы

1. Виды микрометрических инструментов.
2. Устройство микрометров.
3. Как снимать показания микрометра? Настройка микрометра на нуль.
4. Для чего служит трещотка?
5. Устройство микрометрического глубиномера.
6. Устройство микрометрического нутромера.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИНДИКАТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ

Цель работы:

1. Изучить устройство, принцип действия и метрологические характеристики индикатора часового типа и индикаторных приборов.
2. Получить навыки самостоятельной работы с приборами, измерив детали индикаторной скобой и индикаторным нутромером.

Измерительные головки с зубчатым механизмом или индикаторы часового типа

Измерительными головками называются отсчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного стержня в большие перемещения стрелки по шкале (индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые индикаторы, многооборотные индикаторы, рычажно-зубчатые головки).

В качестве отдельного измерительного устройства головки использоваться не могут и для измерения их устанавливают на стойках, штативах или оснащают приборы и контрольно-измерительные приспособления.

Измерительные головки предназначены в основном для относительных измерений. Если размеры деталей меньше диапазона показаний прибора, то измерения могут быть выполнены абсолютным методом.

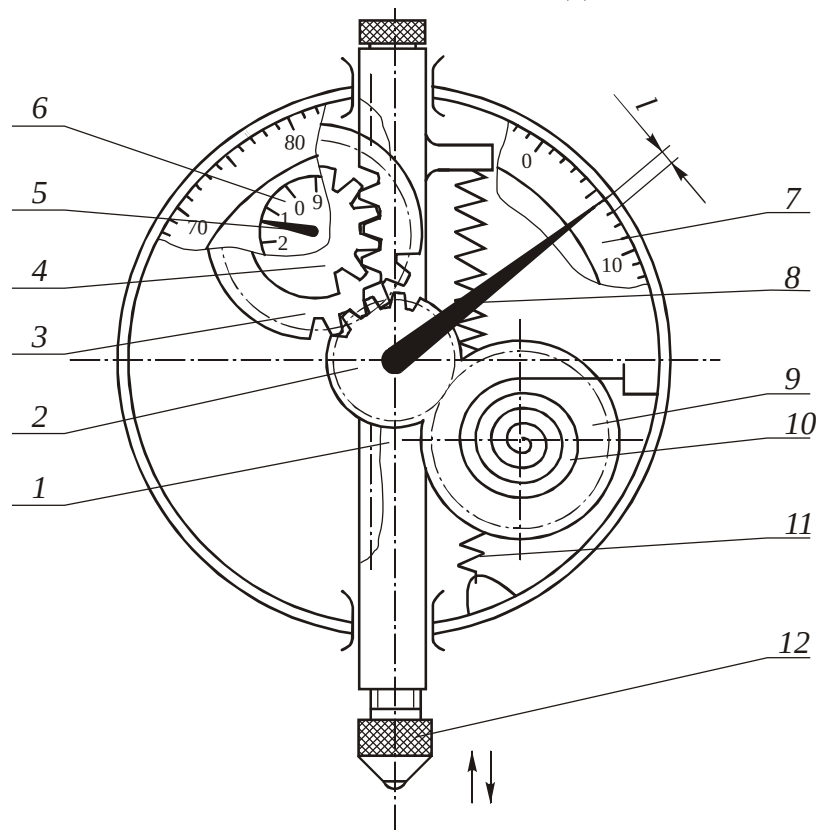


Рис. 4.1. Индикатор часового типа ИЧ-10

Наиболее распространенными измерительными головками с зубчатой передачей являются индикаторы часового типа.

Принцип действия индикатора часового типа состоит в следующем (рис.4.1):

Измерительный стержень 1 перемещается в точных направляющих втулках. На стержне нарезана зубчатая рейка, находящаяся в зацеплении с трибом 4 ($z=16$). Трибом в приборостроении называют зубчатое колесо малого модуля с числом зубьев $z \leq 18$. На одной оси с трибом 4 установлено зубчатое колесо 3 ($z=100$), которое передает вращение трибу 2 ($z=10$). На одной оси триба 2 закреплена большая стрелка 8, которая двигается по шкале 7, отсчитывая десятые и сотые доли миллиметра перемещения измерительного стержня с наконечником 12.

При перемещении измерительного стержня в диапазоне показаний большая стрелка совершает несколько оборотов, поэтому в конструкции индикатора часового типа установлена дополнительная стрелка 5 на оси триба 4 и колеса 3. При перемещении измерительного стержня на 1 мм большая стрелка 8 совершает один оборот, а стрелка 5 перемещается на одно деление малой шкалы 6.

Число делений малой шкалы определяет диапазон показаний индикаторов часового типа в мм.

С трибом 2 находится в зацеплении второе зубчатое колесо 9 ($z=100$). К оси этого колеса одним концом присоединена спиральная пружина 10, второй конец которой закреплен в корпусе индикатора. Пружина обеспечивает работу зубчатых колес в режиме однопрофильного зацепления, уменьшая тем самым влияние зазоров в зубчатых парах на погрешность измерений.

В индикаторе часового типа предусмотрена винтовая пружина 11, один конец которой укреплен на измерительном стержне, а другой – на корпусе индикатора. Эта пружина создает измерительное усилие на стержне $P=150\pm 60$ сН.

Все индикаторы часового типа имеют цену деления большой шкалы равную 0,01 мм. Большинство индикаторов имеет диапазон показаний 2 мм (ИЧ-2), 5 мм (ИЧ-5), 10мм (ИЧ-10) и реже выпускаются индикаторы с диапазоном показаний 25 мм (ИЧ-25) и 50 мм (ИЧ-50).

Погрешность измерений индикатором часового типа зависят от перемещения измерительного стержня. Так в диапазоне показаний 1÷2 мм погрешность измерения находится в пределах 10÷15 мкм, а в диапазоне 5÷10мм погрешность находится в пределах 18÷22 мкм.

Измерение индикатором часового типа

Индикатор 1 крепится на индикаторной стойке 2 винтом 3 (рис.2,а). Ослабляя винт 5, опускаем индикатор до касания наконечником измерительного столика 4, после чего опускаем дополнительно еще на 1...2 мм (создаем «натяг»). Фиксируем это положение затягиванием винта 5. Поворачиваем за ободок 6 круговой шкалы индикатора до совмещения «0» шкалы с большой стрелкой. Записываем показания индикатора (например, 1,00 мм при натяге 1 мм).

Не изменяя положение корпуса индикатора, поднимаем измерительный наконечник и кладем на измерительный столик деталь. Отпускаем стержень (рис.4.2,б) и записываем показание индикатора (например, 2,15 мм) Разница между показанием индикатора при измерении и при настройке дает значение перемещения стержня относительно столика при измерении ($b=2,15-1,00=1,15$ мм). Это и будет размер b . Таким способом производят измерения абсолютным методом.

В тех случаях, когда размер детали больше диапазона показаний прибора, пользуются относительным методом. Для этого определяем приблизительно размер детали (например, около 42 мм), набираем блок из плоскопараллельных концевых мер длины (тоже 42 мм) настраиваем прибор на «0» относительно плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД) (рис.2,в) аналогично настройке при абсолютном методе. Записываем показания индикатора (например, 1,00 мм), убираем блок ПКМД и ставим деталь. Записываем показания индикатора (например, 2,15 мм). Определяем перемещение стержня при измерении относительно ПКМД ($\Delta=2,15-1,00=1,15$ мм) (рис.4.2,г).

Действительный размер детали $d = \text{ПКМД} + \Delta$ (например, $d = 42 + 1,15 = 43,15$ мм). При сложении необходимо учитывать знак относительного перемещения: если размер детали окажется меньше блока ПКМД, то Δ получится отрицательным. Например, если индикатор показывал при настройке 1,00 мм, а при измерении 0,42 мм, то $\Delta = 0,42 - 1,00 = -0,58$ мм.

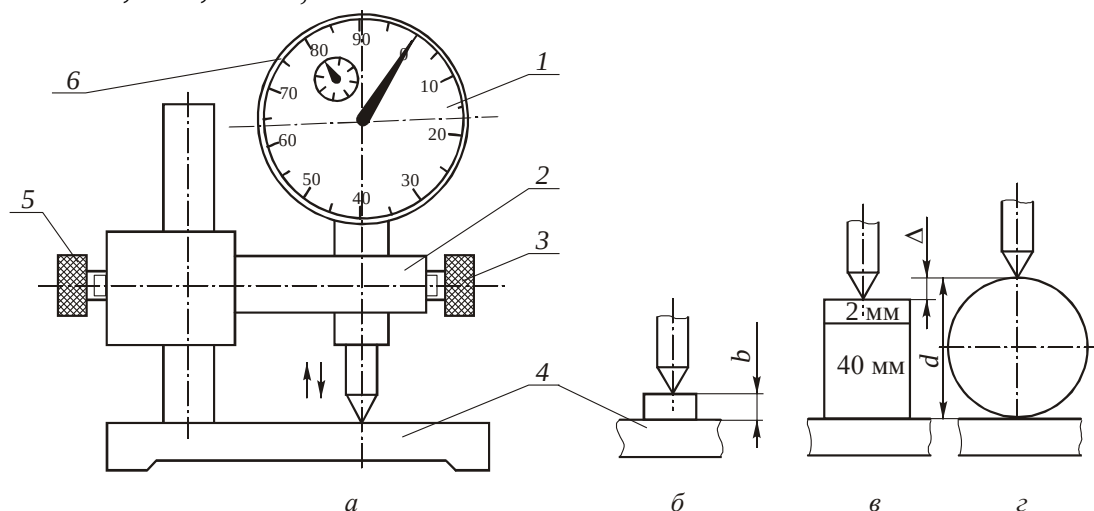


Рис. 4.2. Измерение индикатором

Относительным методом пользуются и в тех случаях, когда необходимо уменьшить погрешность измерения, т.е. уменьшить измерительное перемещение с тем, чтобы избавиться от накапливающейся погрешности прибора.

Индикаторная скоба

В корпусе скобы (рис. 4.3) установлены индикатор часового типа, подвижная пятка 2 и сменная переставная пятка 3.

Подвижная пятка 2 постоянно отжимается в сторону изделия измерительным стержнем индикатора и специальной пружиной. Переставная пятка 3 при освобожденном винте 4 и снятом колпачке может перемещаться в пределах до 50 мм. Диапазоны измерений индикаторных скоб составляют: 0÷50 мм, 50÷100 мм, 100÷200 мм, ..., 600÷700 мм, 700÷850 мм, 850÷1000 мм.

Основная погрешность прибора (в зависимости от типоразмера скобы) изменяется от 5 до 20 мкм.

Измерение индикаторной скобой

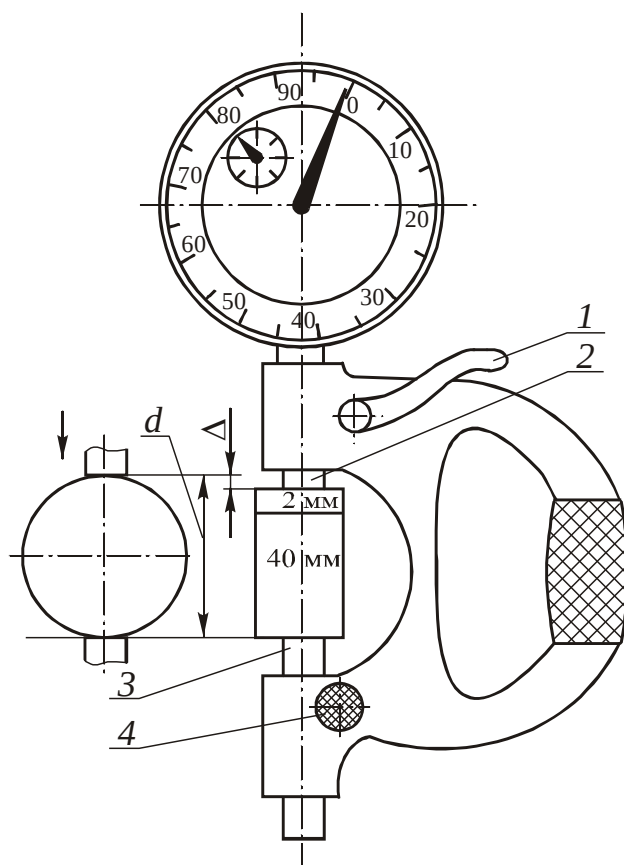


Рис. 4.3. Индикаторная скоба

1. Измеряем штангенциркулем деталь. Например, получаем размер $d=42,15$ мм.

2. Набираем блок плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД= $40+2=42$ мм)

3. Ослабляем винт 4, ставим блок ПКМД между подвижной пяткой 2 и переставной пяткой 3 (рис.4.3). Перемещением пятки 3 создаем натяг 1...2 мм по шкале индикатора. Закрепляем винтом 4 положение переставной пятки 3. Поворачиваем шкалу индикатора до совмещения «0» деления с большой стрелкой. Записываем показание индикатора при настройке (индикатор при настройке 1,00 мм).

4. Убираем блок ПКМД, отводим подвижную пятку 2 нажатием на ручку арретира 1 и ставим измеряемую деталь. Записываем показания индикатора (индикатор при измерении 1,18 мм).

5. Определяем относительное перемещение (относительное перемещение $\Delta=1,18-1,00=0,18$ мм).

6. Рассчитываем действительный размер детали ($d=ПКМД+\Delta=42+0,18=42,18$).

Индикаторный нутромер

Индикаторные нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров и диаметров отверстий относительным методом.

Наиболее часто применяют нутромеры типоразмеров из следующего ряда диапазонов измерения: 6-10; 10-18; 18-50; 50-100; 100-160; 160-250; 250-450; 450-700; 700-1000 мм.

Устройство и работу индикаторных нутромеров рассмотрим на примере нутромера модели НИ-100 (рис.4.4).

В корпусе нутромера вставлена втулка-вставка 2, в которую с одной стороны ввернут сменный неподвижный измерительный стержень 3, а с другой стороны находится подвижный измерительный стержень 4, воздействующий на двухплечий рычаг 5, закрепленный на оси 6.

Внутри корпуса размещен шток 8, поджимаемый к рычагу 5 измерительным стержнем индикатора часового типа и спиральной пружиной 10. Последние создают измерительное усилие в пределах от 200 до 500 сН.

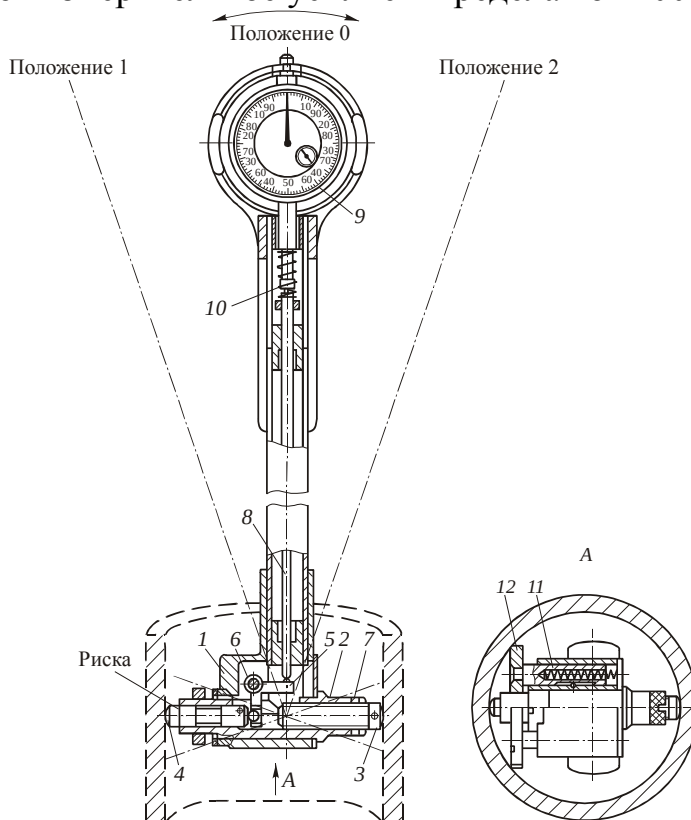


Рис. 4.4. Нутромер модели НИ-100

В пределах диапазона измерений нутромеры снабжаются комплектом сменных измерительных стержней. Положение неподвижного измерительного стержня после настройки фиксируется гайкой 7. Подвижный измерительный стержень 4 под воздействием измерительного усилия находится в крайнем исходном положении. Центрирующий мостик 12, поджимаемый двумя пружинами 11 к поверхности контролируемого отверстия, обеспечивает совмещение линии измерения с диаметром отверстия.

Настройку нутромера на требуемый номинальный размер осуществляют по блокам ПМКД с боковиками, установленными в державках-струбцинах, или по аттестованным кольцам. Погрешность нутромеров обычно нормируется равной $1,5 \div 2,5$ цены деления отсчетной головки.

Измерение индикаторным нутромером

Подсчитать по номинальному размеру отверстия измеряемой детали номинальные размеры ПМКД. Подготовить установочный комплект (рис.4.5) из блока ПМКД, двух боковиков 2 и струбцины 1. Из комплекта сменных регулируемых стержней (прилагаются к нутромеру) выбрать стержень с диапазоном размеров, в котором находится номинальный размер измеряемого отверстия. Ввинтить сменный регулируемый стержень 3 в корпус нутромера 5.

Ввести нутромер измерительными стержнями в установочный комплект между боковиками и создать для индикатора часового типа натяг $1 \div 2$ мм (рис.4.5).

Покачивая нутромер от себя на себя, поворачивая его влево - вправо вокруг вертикальной оси, нужно установить ось измерительных стержней (ось измерения) в положение, совпадающее с наименьшим расстоянием между измерительными поверхностями боковиков. Это положение покажет большая стрелка индикатора, когда дойдет до самого дальнего (при ее движении по часовой стрелке) деления шкалы и начнет движение обратно. Придав правильное положение индикатору, нужно зажать контргайку 4 сменного измерительного стержня 3 и установить нулевое деление шкалы индикатора до совпадения с большой стрелкой.

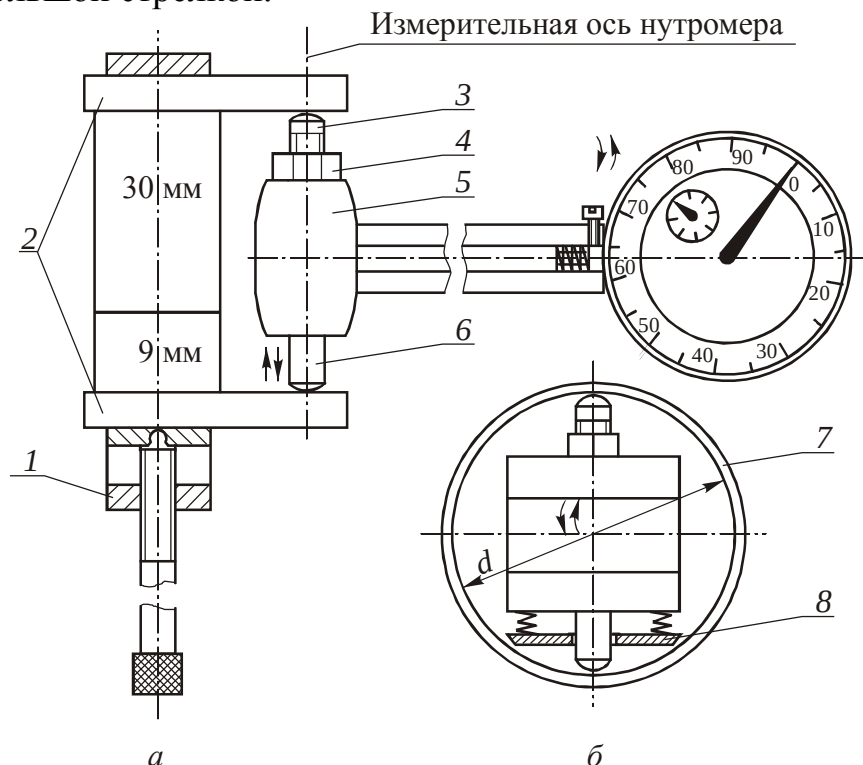


Рис. 4.5. Индикаторный нутромер при настройке (а) (центрирующий мостик не показан) и при измерении (б)

После настройки нутромера на «0» можно приступить к измерению отклонений размера отверстия детали от номинала.

Вводим в отверстие измеряемой детали измерительную головку нутромера. Подпружиненный центрирующий мостик 8 ориентирует измерительную ось нутромера строго в диаметральной плоскости измеряемого отверстия (рис. 4.5, б).

Покачивая нутромер в вертикальной плоскости, определяем показания индикатора при крайнем правом положении большой стрелки.

При определении действительных отклонений размеров отверстий от номинала руководствуются следующим правилом: отклонение принимают со знаком минус («-»), если большая стрелка индикатора отклонилась от «0» деления шкалы по часовой стрелке, а отклонение против часовой стрелки показывает увеличение диаметра отверстия от номинального размера и действительное отклонение принимают со знаком плюс («+»).

Значение действительного отклонения подсчитывают умножением числа делений шкалы индикатора (указанное большой стрелкой от «0») на цену деления 0,01 мм.

Действительный размер диаметра отверстия будет равен номинальному диаметру отверстия плюс («+») или минус («-») действительное отклонение.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Виды индикаторных приборов, используемых в работе и их метрологические характеристики. Метод измерения.
3. Эскизы измеряемых деталей с действительными размерами.
4. Оценка годности деталей.

Контрольные вопросы

1. Конструкция индикаторов часового типа.
2. Метрологические характеристики индикаторных приборов. Метод измерения.
3. Как читают показания при измерениях индикаторными приборами?
4. Индикаторная скоба. Настройка скобы для измерений.
5. Как называется величина, которую фиксирует прибор?
6. Индикаторный нутромер. Настройка нутромера.
7. Измерение нутромером.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калиниченко, Н. П. Формы и методы контроля качества металлов и сварных конструкций: атлас фотографий дефектов опасных производственных объектов: учебное пособие для СПО / Н. П. Калиниченко, А. Н. Калиниченко. — Саратов: Профобразование, 2019. — 143 с. — ISBN 978-5-4488-0035-1. —

Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/83120.html>

2. Зацепин, А. Ф. Современные компьютерные дефектоскопы для ультразвуковых исследований и неразрушающего контроля: учебно-методическое пособие / А. Ф. Зацепин, Д. Ю. Бирюков. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 120 с. — ISBN 978-5-7996-1939-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/68295.html>

3. Неразрушающий контроль. В 2 частях. Ч.2. Неразрушающий контроль в управлении качеством с применением мехатронных систем : учебное пособие / К. П. Латышенко, А. А. Чуриков, С. В. Пономарев [и др.]. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 81 с. — ISBN 978-5-8265-1679-9. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/85965.html>

4. Секацкий, В. С. Методы и средства измерений и контроля: учебное пособие / В. С. Секацкий, Ю. А. Пикалов, Н. В. Мерзликина. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. — 316 с. — ISBN 978-5-7638-3612-7. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/84241.html>

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	
ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ И ИЗМЕРЕНИЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН...	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	
ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ.....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3	
ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ.....	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4	
ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИНДИКАТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ.....	19
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	26

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Методы и средства измерений, испытаний и контроля»
для студентов направления 27.03.02 Управление качеством профиль:
«Энергетический менеджмент в строительстве и промышленности»

Часть 1

Составители:

Поцибнева Ирина Валерьевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 03.06. 2021.

Объем данных

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский проспект 14