



**Лабораторный практикум
Введение в технику эксперимента**

НОНИУС И МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ
Измерение линейных размеров

Составитель Киров С.А.

НОНИУС И МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ

Измерение линейных размеров

В данной работе изучается принцип работы и устройство шкал с нониусом и микрометрических шкал на примере приборов для измерения длин – штангенциркуля и микрометра.

Введение.

Измерить – значит сравнить измеряемую величину с эталонной, что и производится измерительными приборами. Конечным элементом любого прибора является индикатор, представляющий результаты для визуального восприятия. Во многих приборах, кроме того, имеются индикаторы, служащие для начального выставления данных для работы прибора, например, для установки частоты генераторов и т.д. Индикатор должен обеспечить удобство считывания и достаточную точность, соответствующую точности самого прибора. В современных приборах высокого класса точности используется цифровая индикация. В приборах менее точных продолжает применяться аналоговая индикация в виде шкал разных типов (например, стрелочные приборы и др.). Аналоговое представление информации более наглядно, особенно если нужно следить за изменением измеряемой величины во времени. Преимуществом аналоговой индикации является также простота и надежность, ненужность схем цифровой обработки и источников питания. Поэтому индикация по шкалам широко используется в приборах невысокого класса точности, особенно переносных. В ряде случаев и высокоточные приборы содержат, наряду с цифровым, аналоговый индикатор для качественного представления результата.

В данной работе на примере двух приборов для измерения линейных размеров – штангенциркуля и микрометра– изучаются методы считывания показаний с нониусных и микрометрических шкал и оценка ошибок считывания.

Точность считывания по шкалам.

Интерполяционная точность считывания для шкал принимается около $1/3$ цены деления. Повысить точность можно следующими способами.

– Уменьшением цены деления. При постоянном размере деления это приводит к увеличению необходимого числа делений, т.е. к удлинению шкалы. Для уменьшения габаритов всего индикаторного устройства шкалу часто наносят на барабан (по окружности или по винтовой линии) или сворачивают в спираль.

– Использованием нескольких шкал возрастающей степени точности. Первая шкала позволяет грубо выбрать определенный интервал, что дает первые 1 – 2 цифры результата. Каждая последующая шкала измеряет в пределах цены деления предыдущей шкалы, как бы растягивая его, и дает последующие цифры. Такой метод используется, например, в стрелочных часах (часовая, минутная и секундная шкалы), секундомерах, а также в микрометре (см. ниже).

– Использованием нониуса, который позволяет увеличить в несколько раз точность считывания по существующей шкале.

Нониус. Принцип работы нониуса основан на следующем. Точность визуальной интерполяции положения указателя между делениями шкалы низка (около $1/3$ деления), однако глаз может с гораздо большей точностью фиксировать точное совпадение двух рисок. Ошибка в регистрации такого совпадения составляет доли толщины риски, что при тонких рисках значительно меньше, чем вышеупомянутая $1/3$ расстояния между самими рисками. Нониус и позволяет перевести информацию о положении указателя между делениями шкалы в регистрацию точного совпадения двух рисок – риски самой шкалы с риской вспомогательной шкалы – нониуса. Нониус представляет собой связанную с указателем подвижную шкалу, скользящую вдоль основной шкалы. Указатель является одновременно “нулем” шкалы нониуса.



Рис. 1



Рис. 2

Деления на шкале нониуса наносятся следующим образом. Выбирается точность нониуса $\delta = D/N$, где D – цена деления основной шкалы, N – натуральное число, обычно 10 или 20. Если совместить нуль нониуса с одним

из делений основной шкалы, то первая риска нониуса наносится так, чтобы она отставала относительно следующей риски шкалы на δ , вторая – на 2δ , n -я – на $n\delta$ (см. рис.1, случай $N = 10$). Последняя N -ая риска нониуса снова совпадает с одной из рисок шкалы.

Если в процессе измерений указатель шкалы (который является и нулем нониуса) сместить вправо на δ , мы увидим совпадение для первой риски нониуса $n = 1$, на 2δ – для риски $n = 2$ и т.д. Таким образом, если при измерении n -ая риска нониуса дала совпадение, значит, указатель шкалы смещен вправо на $n\delta$ от последнего пройденного деления основной шкалы. Полный результат измерения длины L находится суммированием значения, соответствующего этому последнему делению основной шкалы, и смещению $n\delta$: $L = KD + n\delta$, где K – номер деления основной шкалы (см. рис.2, случай $n = 2$).

В данной работе используется один из наиболее распространенных приборов с нониусом – штангенциркуль, служащий для измерения линейных размеров. Цена деления основной шкалы штангенциркуля составляет 1 мм, цена деления нониуса δ указана на самом нониусе и обычно равна 0.1 – 0.05 мм.

Микрометр представляет собой прибор для измерения линейных размеров с двумя шкалами – грубой и точной. Грубая линейная шкала 1 нанесена на внутренний цилиндр, на который навинчивается внешний цилиндр (барaban) с микрометрической шкалой 2, с которым жестко связана измерительная штанга 4, проходящая внутри цилиндра 1 и прижимающая измеряемую деталь к неподвижному упору. Линейная шкала обычно имеет цену деления 0.5 мм. Отсчет по ней производится по последнему делению, не закрытому вращающимся барабаном (см. рис.3: основная шкала – нижняя, с делениями в 1 мм, верхняя шкала содержит деления, смещенные на 0.5 мм). Точная микрометрическая шкала, обычно содержит

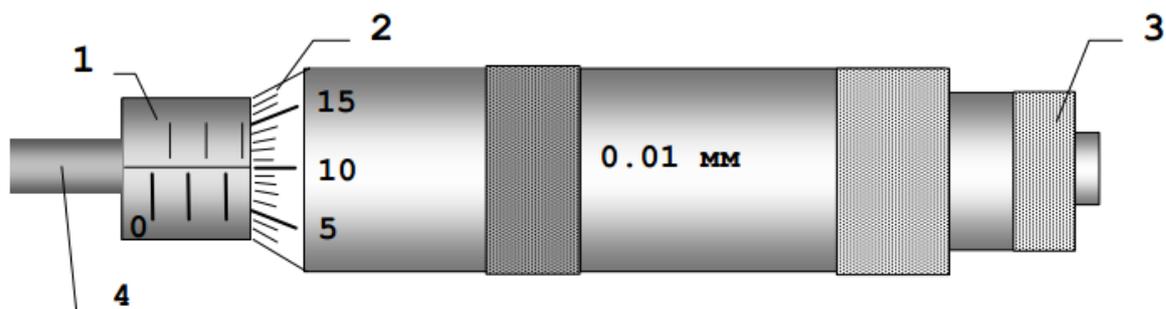


Рис. 3

50 делений. Цена ее деления указана на барабане и обычно составляет 0.01 мм. В этом случае один поворот барабана дает смещение измерительной штанги на 0.5 мм, т.е. на одно деление линейной грубой шкалы. Отсчет по точной микрометрической (вращающейся) шкале проводится по делению барабана, совпадающему с неподвижной продольной риской, вдоль которой нанесены деления грубой шкалы. Результат получается суммированием показаний двух шкал с учетом цены их делений. Например, на рис.3 показание составляет 2.60 мм (2.5 мм по шкале 1 плюс 0.10 мм по точной шкале 2).

Основным источником ошибок при измерении микрометром является зависимость показаний от прижимающего усилия, поэтому усилие, прикладываемое к винту, должно быть нормировано. Это достигается при вращении барабана микрометра за его конечную выступающую часть 3, фрикционно связанную с винтом и передающую на него нормированный вращающий момент.

Вращение непосредственно самого барабана при зажиме измеряемой детали не допускается, иначе можно повредить микрометрическую резьбу винта микрометра.

Перед началом измерений нужно проверить, что при полном соприкосновении измерительной штанги с упором, т.е. при полном закручивании измерительного винта, показания барабана равняются 0. В противном случае при малом отклонении от 0 нужно учесть в результате последующих измерений данную систематическую ошибку. При больших отклонениях нужно скорректировать положение нуля барабана с помощью специального инструмента.

Практическая часть

В задаче предлагается измерить линейные размеры выданного тела, имеющего простую геометрическую форму, рассчитать его объем, взвесить и найти плотность материала.

Запишите номер, указанный на измеряемой детали.

Необходимо схематически изобразить форму измеряемого тела, обозначить характерные размеры и привести в таблице результаты их измерений с оценкой ошибок измерения. При наличии в теле цилиндрических частей измерения диаметров нужно проводить несколько раз во взаимно перпендикулярных направлениях.

Упражнение 1. ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙКОЙ

Все измерения проводятся только линейкой. На основании измерений необходимо рассчитать объем тела с указанием ошибки измерения.

Упражнение 2. ИЗМЕРЕНИЯ ШТАНГЕНЦИРКУЛЕМ И МИКРОМЕТРОМ

Измерения проводятся на том же предмете. В данном упражнении для получения максимальной точности измеряются микрометром все доступные для него по размерам и форме части тела. Остальные размеры измеряются штангенциркулем.

Пример оформления результатов прямых измерений размеров:

Таблица 1. Деталь №2.

Таблица 1. Деталь №2.

Размер	Прибор	Измерения, мм			Среднее, мм	Ошибка, мм		
		1	2	3		Приборная	Станд. отклонение	Полная
D ₁ , мм	Ш	25.1	25.3	24.9	25.1	0.1	0.1	

Ш– измерения штангенциркулем; М– измерения микрометром.

По результатам измерений нужно рассчитать объем с оценкой точности результата, затем найти массу тела взвешиванием на рычажных весах:

$$m = \dots \pm \dots \text{ (кг)}$$

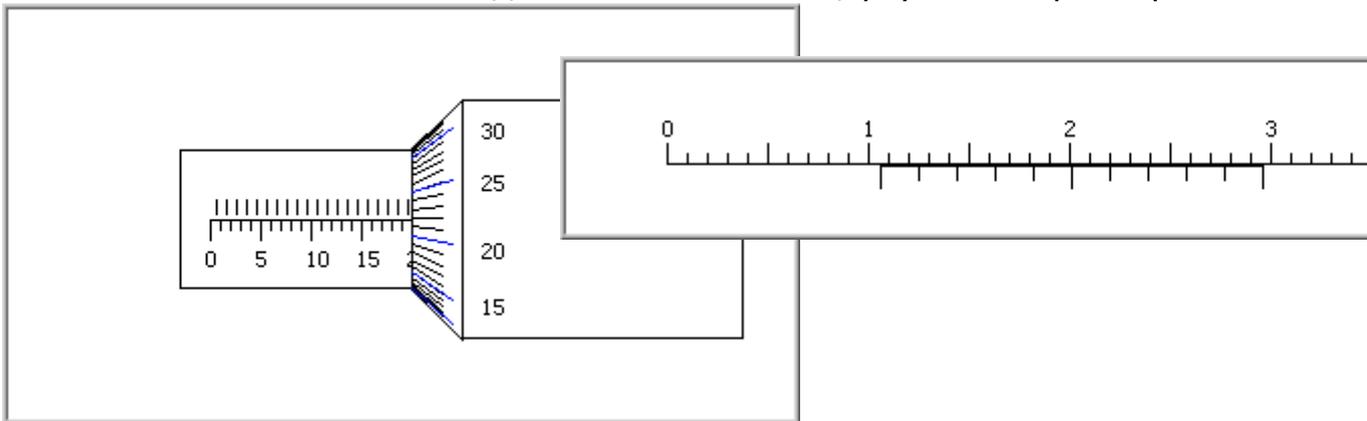
Окончательным ответом к данному упражнению является плотность материала детали, которая рассчитывается по более точному значению объема, полученному в упражнении 2: $\rho = \dots \pm \dots \text{ (кг/м}^3\text{)}$.

Литература

1. Деденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. М., 1977.
2. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М., 1985.
3. Физический практикум. Механика и молекулярная физика. Ред. В.И. Ивероной. М., Наука, 1967. Задача №1. "Изучение нониусов", стр. 40–48.
4. Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. М. Ф.ф. МГУ, 2012.
5. Киров С.А., Ананьева Н.Г. Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. Лабораторная работа № 2 прак. ВТЭК. ООП Ф.ф. МГУ, 2014, с. 1-8.

Примерные вопросы к допуску.

1. Считайте показания с моделей шкал штангенциркуля и микрометра.



2. Округлите результат, вынесите множитель, там, где это целесообразно:
 $38,982 \pm 1,987$ 181152 ± 3275
 $0,05429 \pm 0,00132$ $0,0040972 \pm 0,000073$
3. Запишите формулы расчета объема цилиндра и погрешности объема, если известен диаметр основания $D \pm \Delta D$ и высота цилиндра $H \pm \Delta H$.

Для дополнительной подготовки к 1 вопросу можно использовать литературу [3] и ко 2 и 3 вопросам – [4, 5].

