

Лабораторная работа №2
Работа со штангенциркулем

Цель: Ознакомление с общими требованиями по выполнению экспериментальных измерений с помощью штангенциркуля и оформлению результатов.

Задачи: Научиться:
производить

- 1) прямые измерения линейных размеров тел с помощью штангенциркуля;
- 2) косвенные измерения по определению объемов твердых тел с использованием результатов прямых измерений;

Оборудование: штангенциркуль, металлическая деталь (пластинка), полая металлическая трубка.

Краткая теория:

Штангенциркуль – это прибор, применяющийся для измерения линейных размеров с точностью от 0,1 до 0,02 мм.

Прибор состоит (см.рис.1 а) из линейки (штанги) с миллиметровыми делениями (основной масштаб) и подвижной рамки с нониусом.

На штанге и рамке имеются ножки.

Между ножками зажимается измеряемый предмет и закрепляется винтом на рамке. Отсчет длины отрезка производят по нониусу.

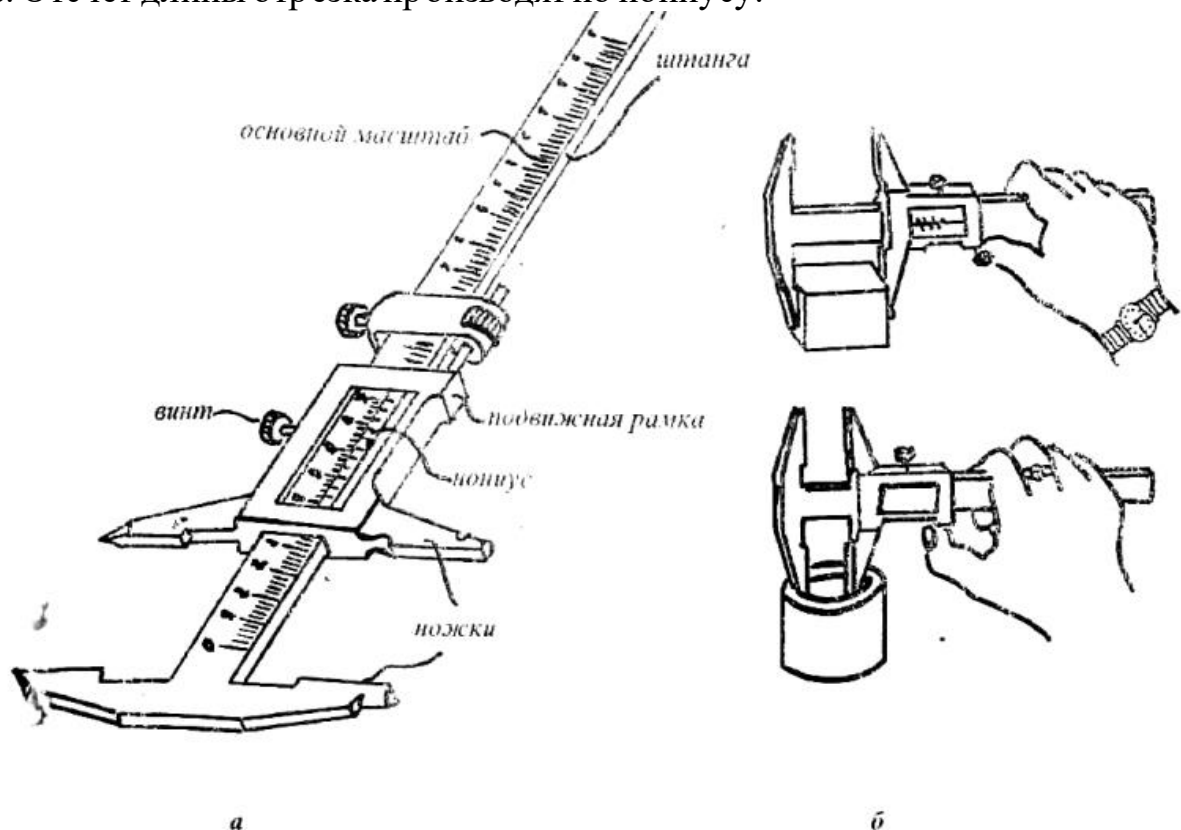


Рис.1. Штангенциркуль и его использование

Нониусом называется дополнительная шкала, перемещающаяся вдоль шкалы основного масштаба, позволяющая повысить точность измерения в данном масштабе в 10-20 раз. Самым простым нониусом является десятичный нониус, который дает

возможность измерять длину с точностью до 0,1 деления основного масштаба (см. рис.2а).

Нониус представляет собой дополнительную линейку, разбитую на 10 равных делений. 10 делений нониуса равны 9 делениям основного масштаба $10 \times 9 = 9 \text{ мм}$, т.е. цена одного деления нониуса $X = 0,9 \text{ мм}$.

Разность между ценой деления основного масштаба Y и ценой деления $\Delta X = Y - X = 1 \text{ мм} - 0,9 \text{ мм} = 0,1 \text{ мм}$. Эту величину называют *точностью нониуса*.

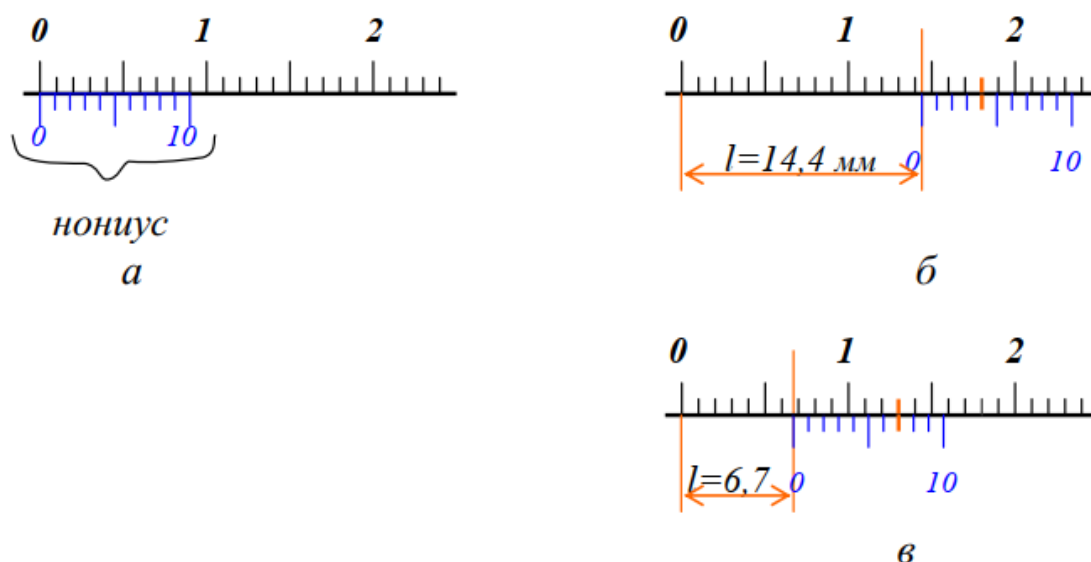


Рис.2. Десятичный нониус: а) в нулевом положении; б) и в) при отсчете десятых долей масштаба.

Если нулевой штрих нониуса, а следовательно, и десятый, точно совпадают с каким-либо штрихом масштаба, то все остальные не совпадают со штрихами масштаба. Если же нулевой штрих нониуса не совпадает с масштабным, то найдется такой штрих шкалы нониуса, который совпадает с каким-либо штрихом масштаба (см. рис.2 б и 2 в).

При положении нониуса, изображенном на рис.2 б, длина измеряемого отрезка l складывается из 14 мм делений масштаба, "пройденных" нулем нониуса, т.е. из 14 мм и отрезка Δl , длина которого равна расстоянию от четырнадцатого штриха масштаба до нуля нониуса. Найдем длину отрезка Δl не на глаз, а с помощью нониуса.

На рисунке точно совпал четвертый штрих деления нониуса с масштабным штрихом. Это означает, что измеряемый размер равен 14,4 мм. На рис. 2 в нуль нониуса «прошел» метку 6 мм, с масштабным штрихом совпадает седьмой штрих нониуса. Здесь измерение дает 6,7 мм.

Итак, для нахождения десятых долей при помощи десятичного нониуса надо номер "совпадающего" деления нониуса умножить на точность нониуса $\Delta X = 0,1 \text{ мм}$. Способ отсчета длин и углов при помощи масштаба, снабженного *любым* нониусом остается таким же, как и для десятичного нониуса: *Чтобы произвести отсчет по нониусу, надо определить число делений масштаба,*

за которое переместился нулевой штрих нониуса, и прибавить к этому числу точность нониуса, умноженную на номер деления нониуса, штрих которого совпал со штрихом какого-либо деления масштаба.

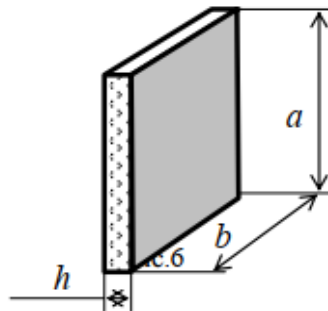
Для измерения внутренних размеров ножки штангенциркуля вставляют внутрь отверстия, а затем раздвигают, как показано на рис.1 б. К отсчету по нониусу следует прибавить толщину ножек.

Рабочие формулы:

- 1) В первом задании данной работы определить объем металлической пластинки

$$V = abh, \quad (\text{рабочая формула})$$

где a - длина пластинки;
 b - ее ширина;
 h - толщина.



- 2) Во втором задании необходимо определить объем полой трубки. Объем полой трубки равен разности объемов первого (наружного) и второго (внутреннего) цилиндров V_X и V_Z

$$V_{TP} = V_X - V_Z$$

Формула объема цилиндра

$$V = (1/4)\pi H d^2$$

Тогда объем трубки

$$V_{TP} = (1/4)\pi H (d_1^2 - d_2^2), \quad (\text{рабочая формула})$$

где d_1 и d_2 - диаметры
 наружного и внутреннего цилиндров,
 H - высота трубки (цилиндра).

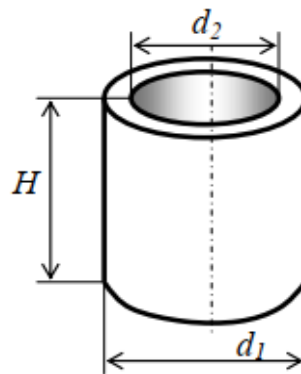


Рис.7

Указания по выполнению работы:

1 задание: Определить объем металлической пластинки.

1. Подготовить таблицу измерений

№ измерения	h_i	Δh_i	a_i	Δa_i	b_i	Δb_i	V_{cp}	ΔV_{cp}
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее значение								

2. Произвести 5 измерений толщины h в разных местах пластины с помощью микрометра. Результаты заносить в таблицу

3. Определить среднее арифметическое значение толщины h_{cp} по формуле

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i,$$

где n – число измерений, здесь $n=5$, среднее вычисляем как сумму пяти значений, деленную на 5.

4. Вычислить абсолютную погрешность каждого измерения Δh_i

$$\Delta h_i = h_{cp} - h_i$$

5. Вычислить среднюю абсолютную погрешность измерения Δh_{cp}

$$\Delta h_{cp} = \pm \frac{|\Delta h_1| + |\Delta h_2| + |\Delta h_3| + \dots + |\Delta h_n|}{n} = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i$$

6. Такую же работу с пункта 2 по 5 проделать по измерению a - длины, b ширины пластины с помощью штангенциркуля.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу измерений.

7. По формуле $V=a b h$ определите V_{cp} , подставляя средние значения h_{cp} , a_{cp} , b_{cp} .

8. Определите абсолютную и относительную предельные погрешности косвенных измерений объема пластины дифференциальным методом.

При выполнении работы необходимо учитывать три погрешности, вносимые измерениями h , a , b в определении объема трубки, т.е. объем пластины является функцией трех переменных $V(h, a, b)$.

Абсолютная погрешность для функции нескольких переменных в общем случае

$$\Delta N = \pm \left\{ \left| \frac{\partial N(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial N(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial N(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} \Delta x_n \right| \right\}$$

$$\Delta V_{cp} = \pm \left\{ \left| \frac{\partial V_{cp}(a, b, h)}{\partial a} \Delta a \right| + \left| \frac{\partial V_{cp}(a, b, h)}{\partial b} \Delta b \right| + \left| \frac{\partial V_{cp}(a, b, h)}{\partial h} \Delta h \right| \right\}$$

Найдем частные производные функции

$$\frac{\partial V_{cp}(a, b, h)}{\partial a} = bh; \quad \frac{\partial V_{cp}(a, b, h)}{\partial b} = ah; \quad \frac{\partial V_{cp}(a, b, h)}{\partial h} = ab$$

Тогда $\Delta V_{cp} = \pm \{ |bh \Delta a| + |ah \Delta b| + |ab \Delta h| \}$

Рассчитайте абсолютную погрешность определяемого значения объема ΔV_{cp} по данным из таблицы, подставляя средние значения величин и их абсолютных погрешностей.

Определите относительную погрешность по формуле

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta V_{cp}}{V_{cp}} 100\%$$

9. Значения объема записывают с указанием погрешности определения в виде

$$V = V_{cp} \pm \Delta V_{cp}; \quad \Delta V/V = \Delta V_{cp}/V_{cp} * 100\%$$

Например, так:

$$V = 110,3 \pm 5,7 \text{ мм}^3; \quad \Delta V/V = 5,2\%$$

2 задание: Определить объем металлической полый трубки

1. Подготовить таблицу измерений

№ измерения	H	ΔH	d_1	Δd_1	d_2	Δd_2	V_{cp}	ΔV_{cp}
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее значение								

2. Произвести по 5 измерений высоты H , наружного диаметра d_1 и внутреннего диаметра d_2 в разных местах трубки. Занести значения в таблицу.
3. Определите средние значения H_{cp} , d_{1cp} и d_{2cp} .
4. Вычислить абсолютную погрешность каждого измерения ΔH , Δd_1 , Δd_2 .
5. Определите V_{cp} , подставляя средние значения H_{cp} , d_{1cp} и d_{2cp} .
6. Вычислить относительную и абсолютную погрешности косвенных измерений объема трубки дифференциальным методом;

При выполнении работы необходимо учитывать три погрешности, вносимые измерениями H_{cp} , d_{1cp} и d_{2cp} в определении объема трубки, т.е. объем пластины является функцией трех переменных $V_{TP}(H_{cp}, d_{1cp}, d_{2cp})$.

В данном случае легче сначала найти относительную погрешность:

$$\frac{\Delta V}{V_{TP}} = \pm \left\{ \left| \frac{\delta(\ln V_{TP}(d_1, d_2, H))}{\delta d_1} \Delta d_1 \right| + \left| \frac{\delta(\ln V_{TP}(d_1, d_2, H))}{\delta d_2} \Delta d_2 \right| + \left| \frac{\delta(\ln V_{TP}(d_1, d_2, H))}{\delta H} \Delta H \right| \right\}.$$

Для вычисления относительной погрешности прологарифмируем рабочую формулу:

$$\ln V_{TP} = \ln \frac{1}{4} + \ln \pi + \ln H + \ln (d_1^2 - d_2^2).$$

Найдем частные производные:

$$\frac{\delta(\ln V_{TP}(d_1, d_2, H))}{\delta d_1} = \frac{2d_1}{d_1^2 - d_2^2}$$

$$\frac{\delta(\ln V_{TP}(d_1, d_2, H))}{\delta d_2} = \frac{2d_2}{d_1^2 - d_2^2}.$$

$$\frac{\delta(\ln V_{TP}(d_1, d_2, H))}{\delta H} = \frac{1}{H}$$

Тогда относительная погрешность запишется:

$$\frac{\Delta V_{TP}}{V_{TP}} = \pm \left\{ \left| \frac{2d_1}{d_1^2 - d_2^2} \Delta d_1 \right| + \left| \frac{2d_2}{d_1^2 - d_2^2} \Delta d_2 \right| + \left| \frac{\Delta H}{H} \right| \right\} = \pm \left(\frac{2d_1 \Delta d_1 + 2d_2 \Delta d_2}{d_1^2 - d_2^2} + \frac{\Delta H}{H} \right).$$

Вычислите относительную погрешность, подставляя средние значения всех величин из таблицы.

Затем определите абсолютную погрешность: $\Delta V_{TP, \Phi} = \left(\frac{\Delta V_{TP}}{V_{TP}} \right) * V_{TP}.$

7. значения объема записывают с указанием погрешности определения в виде:

$$V_{TP} = V_{TP, \Phi} \pm \Delta V_{TP, \Phi}$$

$$\frac{\Delta V_{TP}}{V_{TP}} = \frac{\Delta V_{TP, \Phi}}{V_{TP, \Phi}} * 100\%,$$

подставив числовые значения средних величин.

Контрольные вопросы:

1. Устройство штангенциркуля
2. Для чего служит нониус?

- 3 Что называют точностью нониуса?
- 4 Объясните, как производят измерения с использованием нониуса на примере штангенциркуля.
- 5 Как производят измерения внутренних размеров с помощью штангенциркуля?
10. Какие прямые и косвенные измерения производятся в данной работе.
11. Какая величина является наиболее близкой к истинному значению измеряемой величины?

Литература:

1. Физический практикум // под ред. Ивероновой В.И.
2. ГЕ.Пустовалов. Е.В. Талалаева. Простейшие физические измерения и их обработка"