

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

Лабораторная работа №1

Обработка результатов физических измерений

Оборудование: штангенциркуль, тело цилиндрической формы.

Цель работы: научиться оценивать ошибки прямых и косвенных измерений, освоить измерения размеров тел с помощью штангенциркуля и микрометра.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Выполнение лабораторных работ связано с измерением различных физических величин и последующей обработкой результатов измерений.

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью средств измерений.

Прямое измерение – определение значения физической величины непосредственно средствами измерения.

Косвенное измерение – определение значения физической величины по формуле, связывающей её с другими физическими величинами, определяемыми прямыми измерениями.

Никакое измерение невозможно выполнить абсолютно точно. Всякое измерение производится приближенно, и всякий результат измерения содержит в себе некоторую ошибку.

Ошибки измерений по причинам их происхождения подразделяются на три основных типа: систематические, случайные и грубые. Ошибки, обусловленные одной или несколькими постоянно действующими причинами, называются *систематическими ошибками*. Причинами систематических ошибок могут быть ограниченная точность измерительных приборов, сдвиг шкалы. Систематическая погрешность измерительного прибора находится по классу точности этого прибора. Класс точности указывается на приборе или в его паспорте. Если на приборе класс точности не указан и сведений о его погрешности нет, то за значение погрешности принимают половину цены самого маленького деления. Для секундомера приборная погрешность считается равной цене его деления.

Случайные ошибки обусловлены влиянием на результат измерений множества неконтролируемых факторов, изменяющихся случайным образом. Они вызываются непостоянством внешних условий и несовершенными действиями экспериментатора. Например, случайные колебания температуры, давления, напряжения в сети и т.п.

Для уменьшения влияния случайных факторов проводят многократные измерения данной физической величины. Наилучшим приближением к истинному значению является среднее арифметическое значение измеряемой величины.

Оценка ошибок прямых измерений

При проведении физического эксперимента делается несколько измерений исследуемой величины. Пусть X_i - результат отдельного измерения, n - число измерений, тогда

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad - \text{среднее значение измеренной величины,}$$

$$\Delta X_i = |\bar{X} - X_i| \quad - \text{отклонение от среднего,}$$

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n} \quad - \text{абсолютная погрешность прямого измерения.}$$

Полная погрешность или полный доверительный интервал равен

$$\Delta \bar{X}_{\text{п}} = \Delta \bar{X} + \Delta_0,$$

где $\Delta_0 = \frac{1}{2}$ (цена деления) – погрешность отсчета по шкале прибора.

Истинное значение измеряемой величины лежит в интервале

$$\bar{X} - \Delta \bar{X}_{\text{п}} \leq X_{\text{ист}} \leq \bar{X} + \Delta \bar{X}_{\text{п}}.$$

Абсолютная ошибка не полностью характеризует точность измерений. Например, одна и та же ошибка в 1 м при измерении роста человека является большой, а при определении расстояния между Ростовом и Москвой - малой. Приведенный пример иллюстрирует, что абсолютную ошибку нужно сравнить с самой измеряемой величиной. Это выполнено при определении **относительной ошибки** (δX) измеряемой величины X , которая связана с

абсолютной ошибкой ΔX формулой

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X}.$$

Устройство штангенциркуля

Штангенциркуль позволяет измерять внешние и внутренние размеры твердых тел с точностью до 0,1 мм. Внешний вид штангенциркуля изображен на рис. г, а. Для измерений внешних размеров тело помещается в нижней части штангенциркуля и без усилий зажимается в ней. Внутренние размеры определяются с помощью верхней части штангенциркуля или его хвостовика.

Количество миллиметров отсчитывается по основной шкале, а десятые доли миллиметра отсчитываются при помощи устройства, называемого нониусом. Число целых миллиметров равно числу делений основной шкалы, находящихся между нулем основной шкалы и нулевым делением нониуса.

Число десятых долей численно равно тому номеру деления нониуса, которое совпадает с одним из делений основной шкалы. На рис. 1, б, в приведены два примера того, как снимается отсчет со шкалы штангенциркуля.

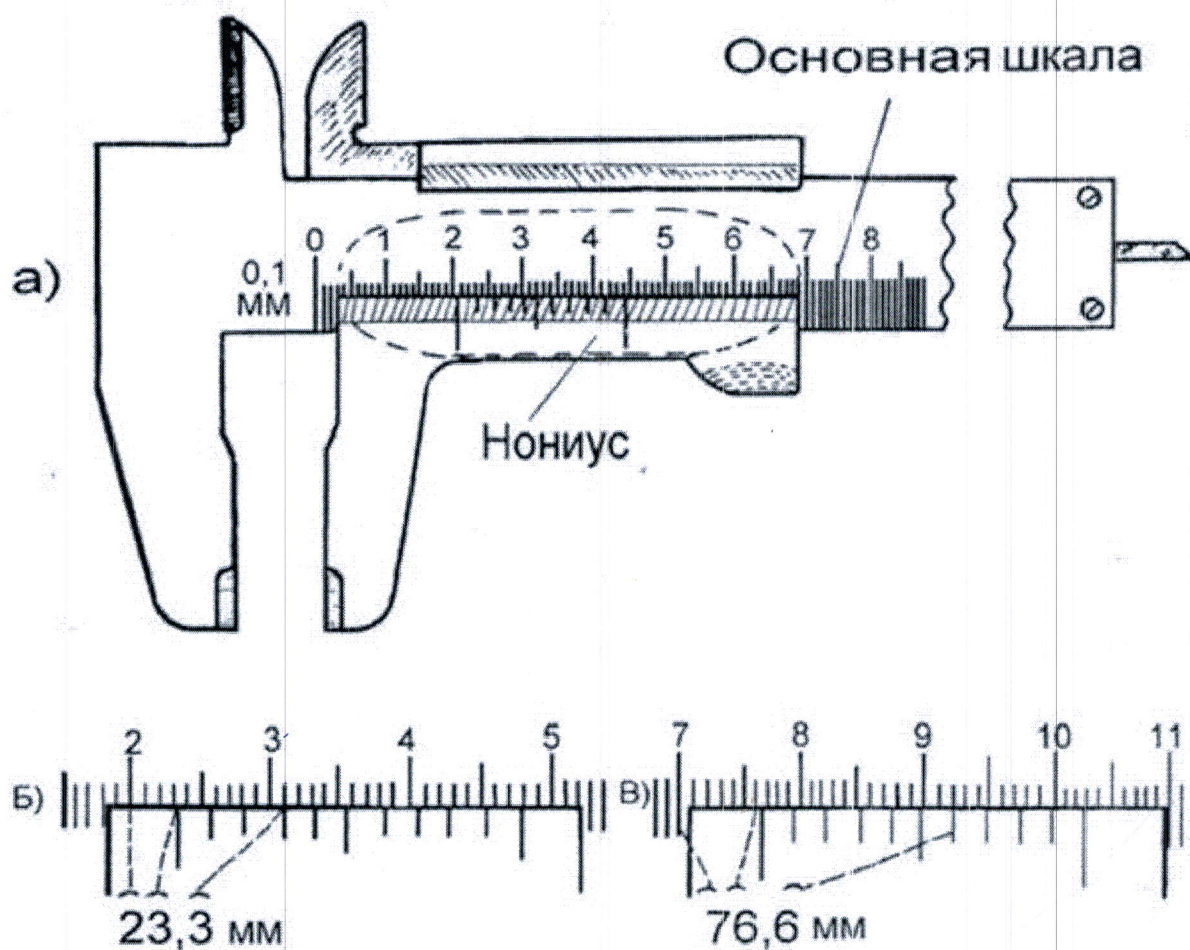


Рис. 1. Штангенциркуль (а) и примеры отсчета размеров по его шкале.

Правила округления

При обработке результатов прямых измерений среднее значение результатов прямых измерений и абсолютная ошибка находятся с той точностью, с которой проведены измерения.

При расчетах результатов косвенных измерений определяют, какая из измеряемых величин содержит наименьшее число значащих цифр, и в окончательном результате оставляют столько же значащих цифр. В промежуточных результатах следует сохранять на одну значащую цифру больше.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Сделать 5 измерений диаметра цилиндра в различных местах при помощи микрометра.
2. Сделать 5 измерений высоты цилиндра в различных местах при помощи штангенциркуля.

Результаты измерений и дальнейших расчетов занести в таблицу.

№	$d, \text{мм}$	$\Delta d, \text{мм}$	$\delta d, \%$	$h, \text{мм}$	$\Delta h, \text{мм}$	$\delta h, \%$	$V, \text{мм}^3$	$\delta V, \%$	$\Delta V, \text{мм}^3$
1									
2									
3									
4									
5									
ср.									

3. Вычислить среднее значение диаметра и высоты:

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad \text{и} \quad h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}{5}$$

4. Определить абсолютные погрешности d и h :

$$\Delta d_i = |d_{\text{ср}} - d_i| \quad \text{и} \quad \Delta h_i = |h_{\text{ср}} - h_i|$$

Если средние значения погрешностей ($\Delta d_{\text{ср}}$ и $\Delta h_{\text{ср}}$) получаются меньше точности микрометра и штангенциркуля, то за абсолютные погрешности измерений диаметра и высоты следует принять соответственно значения точности микрометра и штангенциркуля: $\Delta d_{\text{ср}} = 0,01 \text{ мм}$ и $\Delta h_{\text{ср}} = 0,1 \text{ мм}$.

5. Определить значение относительных погрешностей:

$$E_{\text{отн}} = \frac{\Delta d_{\text{ср}}}{d_{\text{ср}}} \cdot 100\% \quad \text{и} \quad E_{\text{отн}} = \frac{\Delta h_{\text{ср}}}{h_{\text{ср}}} \cdot 100\%$$

6. Вычислить среднее значение объема цилиндра:

$$V_{\text{ср}} = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{4} h_{\text{ср}}$$

7. Определить абсолютную погрешность измерения объема:

$$\Delta V = \frac{\delta V \cdot V}{100\%}$$

8. Записать истинное значение объема цилиндра:

$$V_{\text{ист}} = V_{\text{ср}} \pm \Delta V_{\text{ср}}$$

Величина СКО удобна тем, что с её помощью можно найти границу доверительного интервала Δ с желаемой доверительной вероятностью P . Для этого используется соотношение

$$\Delta = \sigma \cdot t_{P,N}, \quad (17)$$

где $t_{P,N}$ — коэффициент Стьюдента. Значения $t_{P,N}$ приведены в табл. 3 и определяются как доверительной вероятностью P , так и числом проведённых измерений N .

Таблица 3

Коэффициенты Стьюдента $t_{P,N}$

Число измерений	Доверительная вероятность P						
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
2	1,00	1,38	2,01	3,1	3,3	12,7	63,5
3	0,82	1,06	1,31	1,9	2,9	4,3	9,9
4	0,77	0,98	1,25	1,6	2,4	3,2	5,8
5	0,74	0,94	1,21	1,5	2,1	2,8	4,6
6	0,73	0,92	1,20	1,5	2,0	2,6	4,0
7	0,72	0,90	1,12	1,4	1,9	2,4	3,7
8	0,71	0,90	1,11	1,4	1,9	2,4	3,5
9	0,70	0,88	1,11	1,4	1,9	2,3	3,4
∞	0,67	0,84	1,01	1,3	1,6	2,0	2,6

Пример. В серии из 5 измерений времени t секундомером с ценой деления $C=0,2$ с получены значения: 28,5; 28,3; 28,0; 28,9; 28,3 с. Рассчитаем доверительный интервал с доверительной вероятностью $P=0,95$. Для этого

найдем среднее значение $\bar{t} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_i = 28,40$ с.

Его среднее квадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2}{5 \cdot 4}} = 0,15$ с.

Систематическая составляющая величины СКО $\sigma[\Delta_S] = \frac{1}{3} C = 0,07$ с.

где $\Delta_S = C$ - систематическая погрешность, равная цене деления ($C=0,2$ с).

Затем для $P=0,95$ и $N=5$ из табл. 3 найдём коэффициент Стьюдента $t_{P,N} = 2,8$ и рассчитаем $\Delta_t = \sigma \cdot t_{P,N} = 0,15 \text{ с} \cdot 2,8 = 0,4$ с.

Результат измерения запишем в следующем виде:

$$t = (28,4 \pm 0,4) \text{ с}; P=0,95.$$

Другой менее употребительный вариант записи: $t=28,4$ с; $\Delta_t=0,4$ с; $P=0,95$.

Контрольные вопросы

1. Что такое прямые и косвенные измерения?
2. Абсолютная и относительная ошибки. Целесообразность рассмотрения каждой из них.
3. Как рассчитываются погрешности прямых измерений?
4. Вывод формул для нахождения ошибок косвенных измерений.