

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский энергетический институт  
(технический университет)  
Волжский филиал

Кафедра Механики и материаловедения

**С.В. Кулешина, В.П. Мельников**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОЦЕНКА  
ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Приложение к методическим указаниям по обработке результатов лабораторных работ в курсе “Физика” “Физический эксперимент. Статистическая обработка результатов эксперимента”

Рецензент:

Староверов В.В., кандидат технических наук, доцент кафедры ТЭС

**С.В. Кулешина, В.П. Мельников**

Технические измерения. Оценка точности измерений. Приложение к методическим указаниям по обработке результатов лабораторных работ в курсе “Физика” “Физический эксперимент. Статистическая обработка результатов эксперимента.” – Волжский: ВФ МЭИ (ТУ), 2001. - 8 стр.

УДК 58.08

© С.В. Кулешина  
В.П. Мельников  
© ВФ МЭИ (ТУ)

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

### 1 Цель работы

Измерение физических величин, статистическая обработка результатов измерений.

### 2 Принадлежности

Штангенциркуль, микрометр, детали для измерения, весы, разновес.

### 3 Описание инструмента, методика измерений

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств.

Метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора, называют методом непосредственной оценки (отсчёта). К таким методам относится определение линейных размеров с помощью штангенциркуля и микрометра – прямые измерения.

#### 3.1 Измерение штангенциркулем

Штангенциркуль (рис. 1) состоит из штанги 1, на которой нанесена шкала, губок 2 с кромочными измерительными поверхностями для измерения внутренних размеров, губок 3 с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров, глубиномера 4 и нониуса 5.

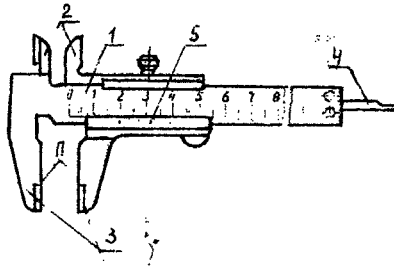


Рис. 1

Нониус имеет 10 делений. Если обозначить число делений на шкале нониуса через  $n$ , то цена деления нониуса для  $n = 10$  равна  $1/n = 0,1 \text{ мм}$ .

Для любого штангенциркуля расстояние между измерительными поверхностями всегда остаётся равным расстоянию между нулём штанги и нулём нониуса. Поэтому измеряемое изделие зажимают между измерительными поверхностями подвижной и неподвижной губок 3. Результат измерения отсчитывается по показаниям шкалы штанги и нониуса.

Допустим, что при измерении нуль нониуса остановился на точке  $B$  (рис. 2).

Тогда измеряемая длина равна отрезку  $OB$  шкалы штанги. Из рисунка следует, что  $OB = OA + AB$ , где  $OA$  определяется количеством целых делений (миллимет-

ров) по шкале штанги, а отрезок  $AB$  составляет часть целого деления шкалы штанги, определяемую с помощью нониуса (*нижняя шкала*).

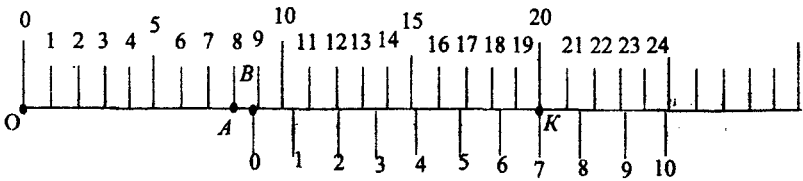


Рис. 2

Всегда найдётся деление нониуса, которое совпадёт с каким-нибудь делением шкалы штанги. Пусть это будет деление  $K$ , тогда отрезок  $AB$  будет содержать столько десятых долей мм, сколько делений нониуса находится слева от точки  $K$ , и измеряемый размер составит 8,7 мм.

### 3.2 Измерение микрометром

Основной частью микрометра является микрометрический винт с известным шагом и неподвижная гайка. Устройство микрометра показано на рисунке 3. На одном конце стержневой скобы 1 закреплена пятка 2 с торцевой измерительной поверхностью  $T$ . На другом конце скобы закреплён стержень 3, внутри которого перемещается микрометрический винт 4, соединённый с барабаном 5 и трещёткой 6, служащей для плавной доводки микрометрического винта до касания его измерительной поверхности  $T$  с измеряемым предметом и обеспечивающей измерительное усилие в заданных пределах (3–7 Н). Для закрепления микрометрического винта имеется стопорное устройство 7.

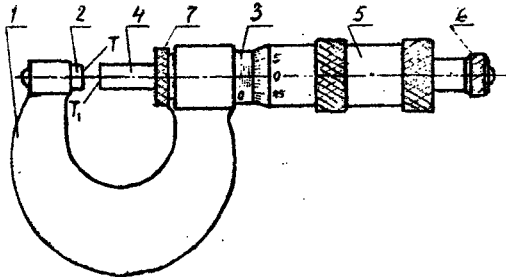


Рис. 3

Вдоль стержня нанесён продольный штрих и две миллиметровые шкалы, смещённые друг относительно друга на полделения. Начальный штрих нижней шкалы стержня принимается за 0. Коническая часть барабана поделена на  $n = 50$  делений. Шаг винта в микрометре равен 0,5 мм, а за  $1/50$  часть оборота микрометрический винт продвинется на  $0,5/50 = 0,01$  мм. Это и будет ценой деления микрометра. Число целых миллиметров отсчитывается по числу делений, вышедших из-

под барабана на нижней шкале стебля, с помощью верхней шкалы определяют десятые и сотые доли миллиметра, отсчитываемые по шкале на конической части барабана.

**3.2.1 Измеряемый предмет зажимают между измерительными поверхностями микрометрического винта и пятки путём вращения винта за трещётку.**

При снятии отсчёта могут иметь место два случая:

а) *первый случай.* На нижней шкале стебля вышло два целых деления, а полмиллиметровое деление верхней шкалы не вышло из-под барабана (рис. 4а), в этом случае деления на барабане дают сотые доли первой половины миллиметра. Против линии стебля остановилось 29-е деление барабана. Полный отсчёт равен 2,29 мм.

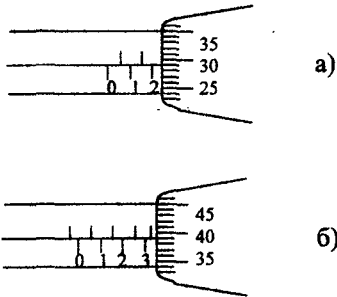


Рис. 4

б) *второй случай.* Из-под барабана вышло три деления нижней шкалы и полмиллиметровое деление верхней шкалы (рис. 4б). В этом случае деления барабана дают сотые доли второй половины миллиметра. Полный отсчёт составляет  $3 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} + 0,39 \text{ мм} = 3,89 \text{ мм}$ .

#### 4 Порядок выполнения работы

4.1 Ознакомьтесь с устройством мерительного инструмента.

4.2 С помощью штангенциркуля измерить внутренний диаметр  $d$  мм, внешний диаметр  $D$  мм образца.

4.3 Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица

№	Измерено штангенциркулем						микрометром			$m, z$
	$D, \text{мм}$	$\Delta D_i$	$\Delta D_i^2$	$d, \text{мм}$	$\Delta d_i$	$\Delta d_i^2$	$S, \text{мм}$	$\Delta S_i$	$\Delta S_i^2$	
1										
2										
3										
	$D_{\text{ср}} =$		$\Sigma \Delta D_i^2 =$	$d_{\text{ср}} =$		$\Sigma \Delta d_i^2 =$	$S_{\text{ср}} =$		$\Sigma \Delta S_i^2 =$	

4.4 С помощью микрометра измерить толщину детали  $S$  мм.

4.5 Измерения по пп.4.2 – 4.4 выполнить не менее 5 раз.

4.6 На технических весах взвесить образец с точностью  $\pm 20$  мг.

## 5 Обработка результатов измерений

5.1 Провести статистическую обработку результатов прямых измерений:

5.1.1 Рассчитать средние значения измеренных величин

$$D_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}, \quad d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}. \quad (1)$$

5.1.2 Рассчитать отклонение каждого измеренного значения от среднего

$$\Delta D_i = D_i - D_{cp}; \quad \Delta d_i = d_i - d_{cp}; \quad \Delta S_i = S_i - S_{cp}. \quad (2)$$

5.1.3 Определить коэффициент Стьюдента  $t_{p,n}$  в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и количества опытов  $n$  (см. таблицу).

5.1.4 Рассчитать случайную составляющую абсолютной погрешности

$$\Delta D_{ca} = t_{p,n} \sqrt{\frac{\sum (D_i - D_{cp})^2}{n(n-1)}}. \quad (3)$$

5.1.5 Определить погрешность средства измерения

$$\Delta D_{c.u.} = \Delta D_n / \sqrt{3}, \quad (4)$$

где  $\Delta D_n$  – абсолютная погрешность мерительного инструмента, равная  $0,5C = 0,5 \times 0,1$  мм = 0,05 мм (для штангенциркуля);

$C$  – цена деления шкалы инструмента.

5.1.6 Рассчитать результирующую погрешность прямого измерения

$$\Delta D = \sqrt{\Delta D_{ca}^2 + \Delta D_{c.u.}^2} \quad (5)$$

Аналогично рассчитать абсолютные погрешности измерений  $\Delta d$ ,  $\Delta S$ .

5.2 Вычислить объём образца по формуле:

$$V = \frac{\pi D^2 S}{4} - \frac{\pi d^2 S}{4} = \frac{\pi S}{4} (D^2 - d^2). \quad (6)$$

5.3 Рассчитать плотность вещества, из которого сделан образец.

$$\rho = \frac{m}{v}. \quad (7)$$

5.4 Рассчитать относительную погрешность косвенных измерений:

$$\delta_{\rho} = \frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{сп}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2 + 4 \left[\frac{(D^2 + d^2) \Delta d_{\text{сп}}^2}{(D^2 - d^2)^2}\right]}, \quad (8)$$

где  $\Delta m$  – абсолютная погрешность измерения массы образца, определяемая точностью весов  $\pm 0,5 \text{ мг}$

$$\Delta d_{\text{сп}} = \frac{\Delta d + \Delta D}{2}$$

$\Delta D, \Delta d, \Delta S$  – абсолютные погрешности прямых измерений, рассчитанные по формулам (1; 2; 3; 4; 5).

5.5 Найти абсолютную погрешность косвенного измерения:

$$\Delta\rho = \delta_{\rho} \times \rho_{\text{сп}}. \quad (9)$$

5.6 Записать окончательный результат косвенных измерений с учётом погрешности, доверительной вероятности и применением правил округления результата.

$$\rho = \rho \pm \Delta\rho, \quad \text{при } p = 0,95$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие измерения называются прямыми, косвенными?
2. Как определяется абсолютная погрешность прямых измерений?
3. Относительная погрешность косвенных измерений?
4. Погрешности случайные и систематические. Промахи?
5. В каких единицах системы «СИ» измеряются плотность и удельный вес?
6. Что такое доверительная вероятность, надёжность?
7. Как выполнить измерения с помощью штангенциркуля?
8. Устройство микрометра и отсчёт по нему?

### СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Принадлежности.....	3
3. Описание инструмента, методика измерений.....	3
4. Порядок выполнения работы.....	5
5. Обработка результатов измерений.....	6
Контрольные вопросы.....	7

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Приложение к методическим указаниям по обработке результатов лабораторных работ в курсе "Физика" "Физический эксперимент. Статистическая обработка результатов эксперимента"

**С.В. Кулешкина, В.П. Мельников**

Редактор *Халдеева Г.П.*  
Компьютерная верстка *Юрина В.В.*

Изд. лиц. № 03542 от 19.12.00

Подписано в печать 07.05.01 Формат 60x90<sub>1/16</sub>

Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,5 Тираж 50 экз. Заказ № 64

Издатель ВФ МЭИ (ГУ), 404110, г.Волжский, пр.Ленина, 69  
Отпечатано ВФ МЭИ (ГУ), 404110, г.Волжский, пр.Ленина, 69