



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 1.1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Цель лабораторной работы – определить плотность твёрдого тела, приобрести навыки использования измерительных инструментов, научиться рассчитывать погрешность прямых и косвенных измерений.

Принадлежности: измеряемый цилиндр, технические весы, набор разновесов, микрометр, штангенциркуль.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Плотность однородного тела – скалярная физическая величина, характеристика вещества, определяемая отношением массы тела m к занимаемому им объёму V :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Можно сказать, что плотность вещества равна массе единицы объёма.

Единица измерения плотности в СИ – $\text{кг}/\text{м}^3$. На практике часто используют единицу плотности – $\text{г}/\text{см}^3$. Соотношение между единицами: $1 \text{ г}/\text{см}^3 = 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$.

Плотность неоднородного тела определяется как предел отношения массы к объёму, когда объём стягивается к точке, в которой определяется плотность:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}.$$

Плотность неоднородного тела можно характеризовать также средней плотностью

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}}.$$

В случае, если тело однородно, то средняя плотность равна плотности вещества.

Плотность вещества слабо зависит от температуры. Плотность вещества, как правило, уменьшается с ростом температуры. При фазовых превращениях вещества (например, плавление – кристаллизация) плотность изменяется скачком, причем при переходе из жидкого состояния в твёрдое плотность обычно возрастает (но у воды и чугуна при затвердевании она аномально уменьшается).

Существуют различные методы определения плотности твёрдых тел.

1. Метод гидростатического взвешивания, в котором тело сначала взвешивают в воздухе, а затем в некоторой жидкости, плотность которой известна. Используя закон Архимеда, рассчитывают плотность тела.

2. Метод пикнометра, в котором искомую плотность определяют по результатам трех взвешиваний: тела в воздухе; пикнометра со вспомогательной жидкостью; пикнометра с той же жидкостью и погруженным в неё телом (в зависимости от свойств тела вспомогательной жидкостью служит вода или органическая жидкость). Пикнометр – это стеклянная колба специальной формы и определенной вместимости, применяемая для точных измерений плотности.
3. Флотационный метод, основанный на том, что тело, погруженное в жидкость, плотность которой равна плотности тела, находится в состоянии безразличного равновесия. Изменяя плотность жидкости (добавлением другой жидкости или изменением температуры) до момента приведения тела во взвешенное состояние, измеряют затем плотность этой жидкости (например, ареометром).
4. Метод, основанный на определении массы тела взвешиванием, а объём – по объёму вытесненной жидкости, в которую погружено тело. Если тело имеет правильную геометрическую форму (параллелепипед, шар, цилиндр и т.д.), то объём можно рассчитать по геометрическим размерам. Этот метод используется в настоящей работе.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Соблюдайте общие правила техники безопасности при пользовании весами, штангенциркулем и микрометром.
2. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Объём и плотность тела получают в результате косвенных измерений, используя прямые измерения геометрических размеров и массы тела. Масса тела определяется путём взвешивания на технических весах.

Если тело имеет правильную геометрическую форму, то обычно измеряют его линейные размеры и по соответствующим формулам рассчитывают его объём. и плотность. В случае цилиндра объём и плотность соответственно равны:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}; \quad (2)$$

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}, \quad (3)$$

где h – высота цилиндра, d – его диаметр.

Измерения высоты цилиндра рекомендуется производить при помощи штангенциркуля, а диаметр измерять микрометром.

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).

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 :

$$c = a / n.$$

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

$$b = \gamma \cdot a - c,$$

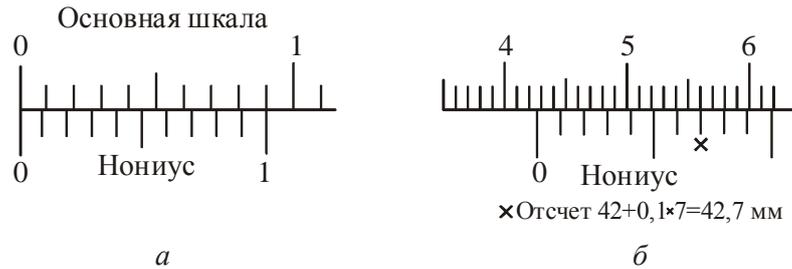
где γ – модуль нониуса, характеризующий растянутость шкалы нониуса или соотношение между значениями интервалов основной шкалы и нониуса.

Длина шкалы нониуса

$$\ell = n \cdot b = (\gamma \cdot n - 1) \cdot a.$$

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. 1).

Цена деления нониуса $c=0,1$ мм



Цена деления нониуса $c=0,05$ мм

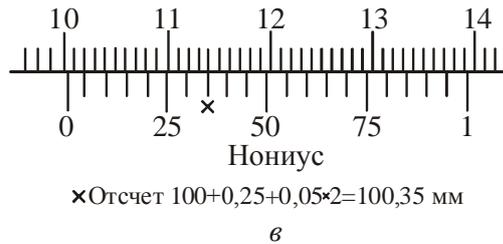


Рис. 1.

Для удобства отсчета дробных долей миллиметра чаще выпускаются штангенинструменты 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. 1, б, в).

Рассмотрим определение показаний штангенциркуля с ценой нониуса 0,1 мм на примере показанном на Рис. 2. Вначале смотрим, на каком делении находится первая (самая левая) метка нижней шкалы нониуса. В нашем случае самая левая метка нижней шкалы располагается между цифрами 6 и 7 миллиметровой шкалы, при этом ближайшее деление слева равно 6 мм, т.е. измеряемый объект имеет размер более 6 мм. Далее смотрим на шкалу нониуса и видим что деление 5 на ней совпадает с одним из делений верхней шкалы что соответствует 0,5 мм. Окончательно определяем что в нашем случае размеры измеряемого объекта равны $6,0 + 0,5 = 6,5$ мм.

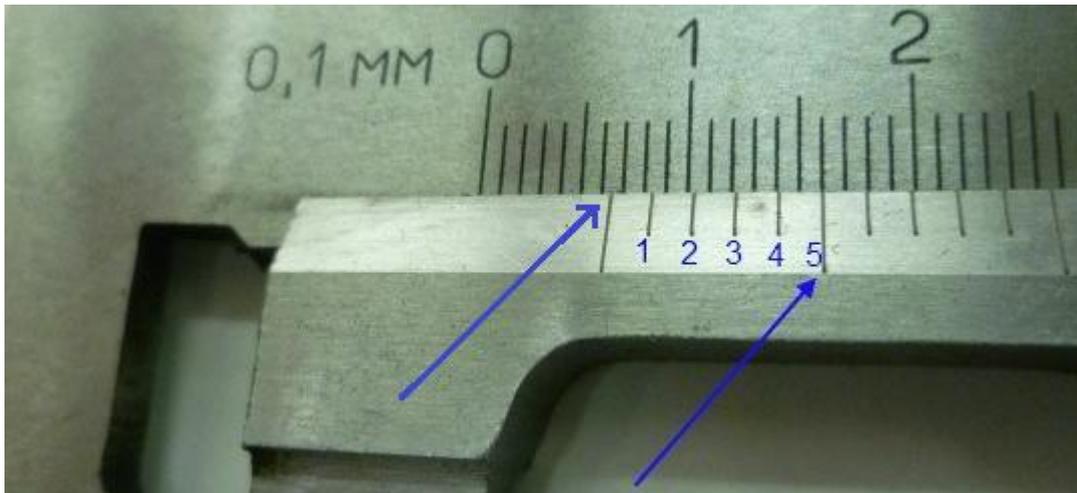


Рис. 2.

Микрометр позволяет измерять внешние размеры предметов, если они не превышают 100 мм, например: диаметр проволоки, тонкие пластинки небольшой площади и т.п. Типичный микрометр и его устройство показано на Рис. 3.

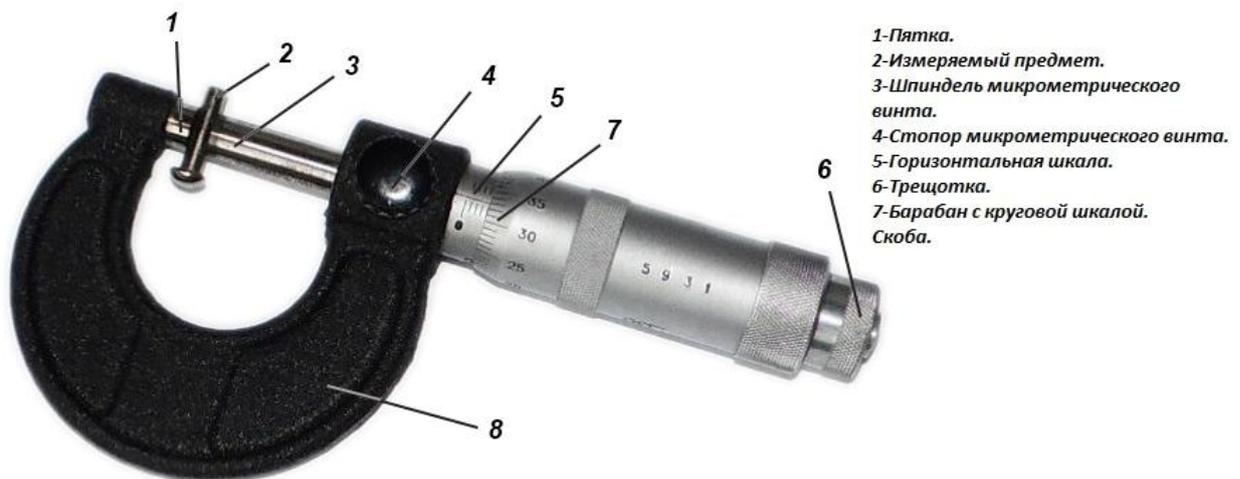


Рис. 3.

Микрометр имеет вид тисков, в которых измеряемый объект зажимается с помощью винта. На шпинделе винта 3 укреплен барабан 7 с нанесенной на нем шкалой, имеющей 50 делений (иногда 25 делений). При вращении микрометрического винта барабан скользит по горизонтальной линейной шкале 5. Точность измерения микрометром повышается (в сравнении со штангенциркулем) благодаря применению винтового механизма – весьма эффективного способа осуществлять тонкое поступательное движение. Измеряемый предмет помещают между винтом и противоположным ему упором, затем, вращая винт 3 доводят его до соприкосновения с измеряемым телом. По горизонтальной линейной шкале 5 отсчитывают миллиметры, а по шкале барабана 7 – сотые доли миллиметра. Главным источником ошибок является неравномерность нажима винта на измеряемый предмет. Для

равномерности нажима микрометрического винта на поверхность измеряемых тел микрометр снабжается фрикционной головкой б (трещоткой). Измеряемое тело помещают между винтом и противоположным упором и вращением барабана подводят торец винта к плоскости тела. Барабан следует вращать, прикладывая усилие не к нему самому, а к выступающей сзади головке б. Вращение головки вызывает перемещение винта только до его упора в поверхность измеряемого тела с определенным фиксированным нажимом, после чего фрикционная головка свободно прокручивается, издавая характерный треск. После срабатывания трещотки дальнейшее вращение головки б бесполезно, а барабана – недопустимо. Таким образом, окончательный результат измерения всегда соответствует постоянному давлению винта шпинделя 3 на предмет. Микрометр имеет две шкалы на горизонтальной шкале 3 (неподвижная часть), и одну шкалу на барабане 7 (вращающаяся часть). Нижняя горизонтальная шкала имеет цену деления 1 мм, по ней определяют целое число миллиметров. Верхняя горизонтальная шкала имеет цену деления в 0,5 мм и метки у нее расположены между метками нижней шкалы.

Рассмотрим процесс измерения микрометром на примере определения, например, диаметра сверла как на Рис. 4. Вначале смотрим, сколько целых миллиметров имеет размер сверла, получилось 4 мм. Далее смотрим на верхнюю шкалу, она показывает значения в 0,5 мм, метки у нее расположены между метками нижней шкалы, чтобы удобнее смотреть значения в полмиллиметра. Получается 4,5 мм (если метку в полмиллиметра не видно, сразу смотрите показания по барабану). Далее смотрим цифровые значения по барабану, он показывает сотые доли миллиметра, в нашем случае он показывает число 17 (0,17 мм). Добавляем этот показатель к 4,5. Получаем 4,67 мм – точный размер сверла.



Рис. 4.

Для учёта не вполне правильной формы тела повторные измерения линейных размеров необходимо произвести в разных местах тела. Значения объема и плотности находят по формулам (2) и (3) подставляя средние значения диаметра и высоты:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}; \quad (4)$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}. \quad (5)$$

При многократном измерении одной и той же величины полная ошибка прямого измерения содержит приборную $\Delta X_{\text{пр}}$ и случайную $\Delta X_{\text{сл}}$ составляющие погрешности измерения.

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{пр}}^2 + \Delta x_{\text{сл}}^2}$$

Приборная точность весов с имеющимся набором разновесов равна $\Delta m = \frac{m_o}{2}$, где m_o – масса наименьшего разновеса в наборе.

За приборную погрешность штангенциркуля и микрометра принимают половину цены деления нониуса каждого прибора.

Случайные погрешности измерений высоты и диаметра цилиндра равны соответственно:

$$\Delta h_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{h}},$$

где

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{(h_1 - \bar{h})^2 + (h_2 - \bar{h})^2 + \dots + (h_n - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}};$$

и

$$\Delta d_{\text{случ}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{d}},$$

где

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + \dots + (d_n - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}}.$$

h_i и d_i – значение высоты и диаметра, получаемые при i -м измерении, $t_{\alpha, n}$ – коэффициент Стьюдента, соответствующий n измерениям при надежности $\alpha=0,95$.

Полная ошибка прямого измерения (доверительный интервал) равна

$$\Delta h = \sqrt{\Delta h_{случ}^2 + \Delta h_{приб}^2} \quad (6)$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{случ}^2 + \Delta d_{приб}^2} \quad (7)$$

Результаты прямых измерений записать в виде:

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (\bar{m} \pm \Delta m), \text{ г}$$

Плотность тела, вычисляемая по формуле (3), является функцией трёх переменных (прямых измерений) $\rho = f(m, d, h)$. Поэтому абсолютную ошибку косвенного измерения плотности $\Delta\rho$ рассчитывают по формуле:

$$\Delta\rho = \bar{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{\bar{h}}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta d}{\bar{d}}\right)^2}, \quad (8)$$

где Δm , Δh , Δd – абсолютные погрешности прямых измерений массы, высоты и диаметра, определенные ранее.

Окончательный результат измерения плотности записывают в виде:

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta\rho), \text{ кг/м}^3$$

Дополнительно рассчитайте относительную ошибку измерений:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\bar{\rho}} \cdot 100\% \quad (9)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить массу тела, взвесив его на весах один раз. Результат занести в таблицу. Записать массу наименьшего разновеса m_0 .
2. Измерить штангенциркулем (микрометром) высоту h цилиндра 5 раз в разных местах. Результаты занести в таблицу. Записать цену деления штангенциркуля (микрометра).
3. Измерить микрометром (штангенциркулем) диаметр d цилиндра 5 раз в разных местах. Результаты занести в таблицу. Записать цену деления микрометра (штангенциркуля).
4. Найти средние значения диаметра d и высоты h формулам (4) и (5).
5. Вычислить среднее значение плотности тела по формуле (3) по средним значениям массы, высоты, диаметра.
6. Вычислить случайную составляющую и полную погрешность измерения высоты и диаметра цилиндра формулам (6) и (7).
7. Вычислить по формуле (8) абсолютную и по формуле (9) относительную погрешности косвенного измерения плотности.
8. Записать полученные результаты в стандартном виде $\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta\rho)$ в системе СИ и сделать вывод о материале из которого изготовлен цилиндр, точности

метода. Оценить, измерение какой величины вносит наибольший вклад в ошибку.

Таблица

№ п/п	m , г	h , мм	d , мм	ρ , кг/м ³
1				
2				
3				
4				
5				
среднее				
Цена деления приборов:	штангенциркуля $C_{шт} =$ микрометра $C_m =$ масса наименьшего разновеса $m_0 =$			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит цель лабораторной работы?
2. Какие измерительные приборы используются при выполнении данной работы?
3. Какие физические величины измеряется непосредственно (прямые измерения)?
4. По какой формуле Вы будете рассчитывать среднюю плотность тела?
5. Как определяется доверительный интервал прямых измерений?
6. Приведите вывод формулы (8) для погрешности косвенного измерения плотности цилиндра $\Delta\rho$.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишмарев В.Ю. «Технические измерения и приборы»: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
2. Афанасьев А.А. Физические основы измерений : учебник для студ. высш. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 240 с.
3. Соловьев В.А., Яхонтова В.Е. Элементарные методы обработки результатов измерений. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1977. – 72 с.
4. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. М.: Наука, 1970. – 104 с.
5. Камке Д. Физические основы единиц измерения / Д. Камке, К. Кремер. – М. : Мир, 1980. – 208 с.
6. Хофманн Д. Техника измерения и обеспечение качества : справочник: пер. с нем. / Д. Хофманн – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.