

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г.Петровске
Е.А.Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по дисциплине
ОП.04 «Материаловедение»

специальности
15.02.09 «Аддитивные технологии»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой) комиссии
общепрофессиональных дисциплин,
профессиональных модулей
специальностей технического профиля
«14» июня 2021 года, протокол №13

Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению лабораторных работ подготовлены на основе рабочей программы учебной дисциплины «Материаловедение» разработанной на основе ФГОС СПО по специальности 15.02.09 «Аддитивные технологии» и соответствующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

ОК 01. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 02. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 03. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 04. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 05. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 08. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 09. Ориентироваться в условиях смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 2.1. Организовывать и вести технологический процесс на установках для аддитивного производства.

ПК 2.2. Контролировать правильность функционирования установки, регулировать ее элементы, корректировать программируемые параметры.

ПК 2.3. Проводить доводку и финишную обработку изделий, созданных на установках для аддитивного производства.

ПК 2.4. Подбирать параметры аддитивного технологического процесса и разрабатывать оптимальные режимы производства изделий на основе технического задания (компьютерной/цифровой модели).

ПК 3.1. Диагностировать неисправности установок для аддитивного производства.

При выполнении лабораторных работ студент должен **знать**:

- классификацию, основные виды, маркировку, область применения и способы обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве;
- методы измерения параметров и определения свойств материалов;
- закономерности процессов кристаллизации и структурообразования полимеров, керамики, металлов и сплавов, а так же виды их механической, химической, термической, гидравлической и газообработки;

- литейные свойства полимеров различного отверждения, литейные свойства металлов и сплавов, закономерности процессов формирования структуры и свойств отливок;
- физико-химические явления при производстве заготовок методом литья;
- основные сведения о кристаллизации и структуре расплавов;
- основные сведения о назначении и свойствах полимеров, керамик, металлов и сплавов, о технологии их производства, а так же особенности их строения свойства смазочных и абразивных материалов;
- способы получения композиционных материалов;
- сущность технологических процессов литья, спекания порошков, электровакуумного напыления, сварки, обработки металлов давлением и резанием.

При выполнении лабораторных работ студент должен **уметь:**

- распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые полимерные, металлические и керамические материалы, применяемые в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления и классифицировать их;
- определять твердость материалов.

Содержание лабораторных занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём лабораторных занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность лабораторного занятия - 2 академических часа. Перед проведением лабораторного занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению лабораторных работ дисциплины «Материаловедение» содержит 4 лабораторных занятия.

**Перечень лабораторных работ
по дисциплине «Материаловедение»**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Определение параметров катушки индуктивности

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение параметров катушки индуктивности

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Определение плотности материала с помощью лабораторных измерений

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

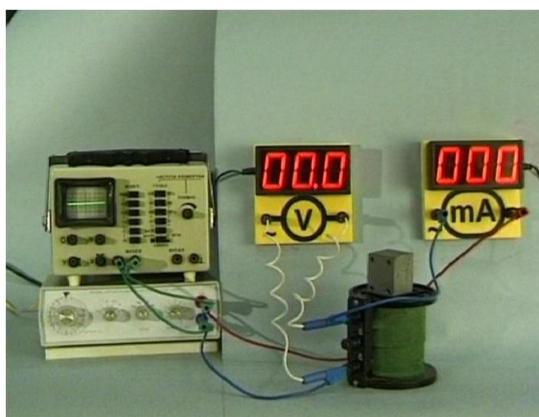
Определение плотности материала с помощью лабораторных измерений

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Тема: Определение параметров катушки индуктивности

Цель: Ознакомление с основными параметрами катушек индуктивности и методами их измерений.

Оборудование: источник переменного напряжения; катушка школьного разборного трансформатора; вольтметр и миллиамперметр переменного тока; соединительные провода.



Справочный материал.

Всякое изменение тока в катушке вызывает появление в ней ЭДС самоиндукции, препятствующей изменению тока. Величина ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна величине индуктивности катушки и скорости изменения тока в ней. Но так как переменный ток непрерывно изменяется, то непрерывно возникающая в катушке ЭДС **самоиндукции создает сопротивление переменному току**. Она препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании. Таким образом, **в катушке индуктивности, включенной в цепь переменного тока, создается сопротивление прохождению тока**. Но так как такое сопротивление вызывается в конечном счете **индуктивностью катушки**, то и называется оно **индуктивным сопротивлением**.

Индуктивное сопротивление обозначается через X_L и измеряется, как и активное сопротивление, в **омах**. Индуктивное сопротивление цепи тем больше, чем больше частота тока, питающего цепь, и чем больше индуктивность цепи. Следовательно, индуктивное сопротивление цепи прямо пропорционально частоте тока и индуктивности цепи; определяется оно по формуле:

$X_L = \omega L$, где ω — круговая частота, определяемая произведением $2\pi\nu$, L — индуктивность цепи в генри (Гн).

Т.е.

$$X_L = 2\pi\nu \cdot L$$

Тогда индуктивность катушки можно выразить:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$$

Закон Ома для цепи переменного тока, содержащей индуктивное сопротивление, звучит так: **величина тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению цепи**, т. е

$$I = \frac{U}{X_L}$$

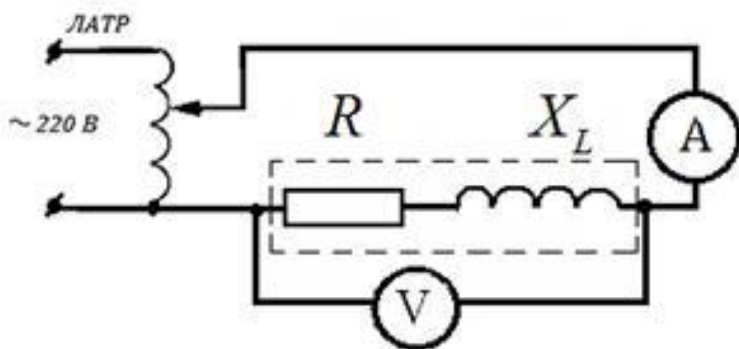
где I и U — действующие значения тока и напряжения, а X_L — индуктивное сопротивление цепи.

Задания:

1. Подготовить таблицу для результатов измерений и вычислений:

Напряжение U , В	Сила тока I , мА	Индуктивное сопротивление X_L , Ом	Частота ν , Гц	Индуктивность L , мГн

2. Собрать электрическую схему согласно рисунка 1 и перерисовать её в тетрадь:



3. С помощью регулятора напряжения подать на схему напряжение 1,5 В и установить частоту переменного тока 80 Гц. Записать показания миллиамперметра.
4. Увеличивая частоту в 2,3,4 и 5 раз каждый раз записывать показания миллиамперметра в таблицу.
5. Вынуть сердечник из катушки и, не изменяя напряжения и частоты переменного тока, записать показания миллиамперметра в таблицу.

Напряжение U, В	Сила тока I, мА	Индуктивное сопротивление X_L , Ом	Частота ν , Гц	Индуктивность L, мГн
1,5	0,345		80	
1,5	0,178		160	
1,5	0,121		240	
1,5	0,090		320	
1,5	0,072		400	
1,5	0,284		400	

6. В каждом опыте рассчитать индуктивное сопротивление катушки по формуле:

$$X_L = \frac{U}{I}$$

7. Вычислить в каждом опыте индуктивность катушки L , используя формулу:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$$

8. Сравнивая индуктивности катушек, сделайте вывод, от чего и как зависит индуктивность.

9. Ответьте письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

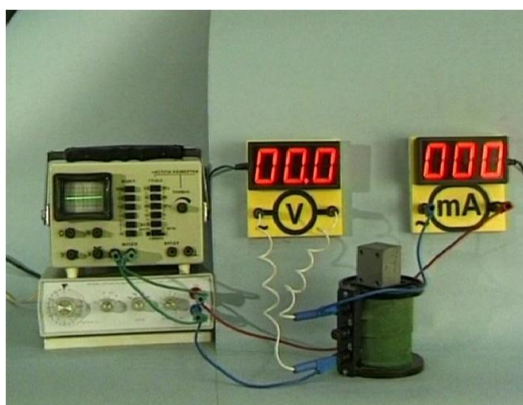
1. Чем вызвано индуктивное сопротивление у катушки при подключении её в цепь переменного тока?
2. От чего зависит индуктивное сопротивление?
3. Почему уменьшается индуктивное сопротивление при удалении из катушки железного сердечника?
4. Почему на постоянном токе индуктивное сопротивление катушки равно нулю?
5. Чему равно индуктивное сопротивление в цепи переменного тока?
6. Как связаны между собой действующие значения силы тока и напряжения на катушке индуктивности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Тема: Определение параметров катушки индуктивности

Цель: Ознакомление с основными параметрами катушек индуктивности и методами их измерений.

Оборудование: источник переменного напряжения; катушка школьного разборного трансформатора; вольтметр и миллиамперметр переменного тока; соединительные провода.



Справочный материал.

Всякое изменение тока в катушке вызывает появление в ней ЭДС самоиндукции, препятствующей изменению тока. Величина ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна величине индуктивности катушки и скорости изменения тока в ней. Но так как переменный ток непрерывно изменяется, то непрерывно возникающая в катушке ЭДС **самоиндукции создает сопротивление переменному току**. Она препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании. Таким образом, **в катушке индуктивности, включенной в цепь переменного тока, создается сопротивление прохождению тока**. Но так как такое сопротивление вызывается в конечном счете **индуктивностью катушки**, то и называется оно **индуктивным сопротивлением**.

Индуктивное сопротивление обозначается через X_L и измеряется, как и активное сопротивление, в **омах**. Индуктивное сопротивление цепи тем больше, чем больше частота тока, питающего цепь, и чем больше индуктивность цепи. Следовательно, индуктивное сопротивление цепи прямо пропорционально частоте тока и индуктивности цепи; определяется оно по формуле:

$X_L = \omega L$, где ω — круговая частота, определяемая произведением $2\pi\nu$, L — индуктивность цепи в генри (Гн).

Т.е.

$$X_L = 2\pi\nu \cdot L$$

Тогда индуктивность катушки можно выразить:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$$

Закон Ома для цепи переменного тока, содержащей индуктивное сопротивление, звучит так: **величина тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению цепи**, т. е

$$I = \frac{U}{X_L}$$

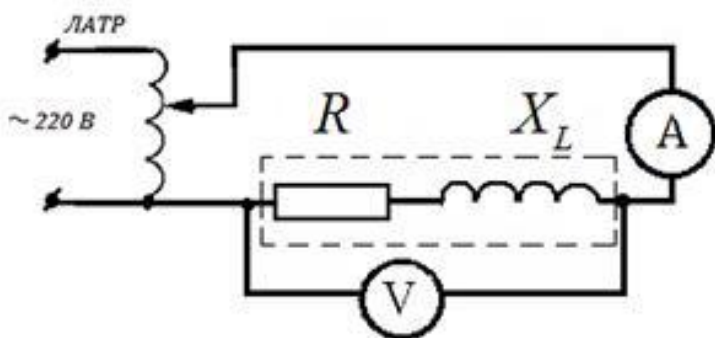
где I и U — действующие значения тока и напряжения, а X_L — индуктивное сопротивление цепи.

Задания:

1. Подготовить таблицу для результатов измерений и вычислений:

Напряжение U , В	Сила тока I , мА	Индуктивное сопротивление X_L , Ом	Частота ν , Гц	Индуктивность L , мГн

2. Собрать электрическую схему согласно рисунка 1 и перерисовать её в тетрадь:



3. Спомощью регулятора напряжения подать на схему напряжение 1,5 В и установить частоту переменного тока 80 Гц. Записать показания миллиамперметра.

4. Увеличивая частоту в 2,3,4 и 5 раз каждый раз записывать показания миллиамперметра в таблицу.

5. Вынуть сердечник из катушки и, не изменяя напряжения и частоты переменного тока, записать показания миллиамперметра в таблицу.

Напряжение U, В	Сила тока I, мА	Индуктивное сопротивление X_L , Ом	Частота ν , Гц	Индуктивность L, мГн
1,5	0,345		80	
1,5	0,178		160	
1,5	0,121		240	
1,5	0,090		320	
1,5	0,072		400	
1,5	0,284		400	

6. В каждом опыте рассчитать индуктивное сопротивление катушки по формуле:

$$X_L = \frac{U}{I}$$

7. Вычислить в каждом опыте индуктивность катушки L , используя формулу:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$$

8. Сравнивая индуктивности катушек, сделайте вывод, от чего и как зависит индуктивность.

9. Ответьте письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Чем вызвано индуктивное сопротивление у катушки при подключении её в цепь переменного тока?
2. От чего зависит индуктивное сопротивление?
3. Почему уменьшается индуктивное сопротивление при удалении из катушки железного сердечника?
4. Почему на постоянном токе индуктивное сопротивление катушки равно нулю?
5. Чему равно индуктивное сопротивление в цепи переменного тока?
6. Как связаны между собой действующие значения силы тока и напряжения на катушке индуктивности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Тема: Определение плотности материала с помощью лабораторных измерений

Цель: лабораторным путем определить плотность твердых материалов.
Приобрести навыки и умения работы с измерительными приборами

Оборудование: исследуемые бруски (металлический, деревянный или пластмассовый); гирька на нитке; весы с разновесом; штангенциркуль; гидростатические весы; ареометр; объемомер; прибор Ле Шателье; мерительная мензурка.

Справочный материал

Плотностью называется масса единицы объема материала. Чтобы вычислить плотность ρ (кг/м³), надо знать массу материала m (кг) и его объем V (м³):

$$\rho = m/V.$$

Большинство строительных материалов – пористые материалы, т.е. в их объеме помимо твердого вещества находятся воздушные ячейки (поры), заполненные воздухом, плотность которого несравнимо ниже плотности твердого вещества. Поэтому для строительных материалов определяют две характеристики: истинную и среднюю плотности.

Истинной плотностью ρ называют плотность того вещества, из которого состоит материал. При расчете объем материала вычисляют без пор и пустот $V_{ТВ}$. Истинная плотность – физическая константа вещества.

Средней плотностью ρ_m материала называют плотность, когда при расчете берется его полный объем в естественном состоянии $V_{ест}$, включая поры и пустоты.

Для характеристики материалов, состоящих из отдельных зерен (цемент, песок, гравий), используют так называемую насыпную плотность.

Насыпная плотность $\rho_{нас}$ – характеристика сыпучих (зернистых, порошкообразных), когда для расчета берется весь занимаемый ими объем, включая и пространства между частицами. На среднюю и насыпную плотность материала влияет его влажность. Вода замещает воздух в порах материала и адсорбируется на поверхности его зерен, и поэтому, как правило, чем больше влажность материала, тем больше его плотность. Для каждого материала ГОСТы устанавливают влажность, при которой определяется его плотность.

Например, плотность тяжелого бетона определяют при его естественной влажности и в сухом состоянии.

Определение средней плотности. Метод определения средней плотности зависит от геометрической формы образца материала: правильной (куб, параллелепипед, цилиндр) и неправильной.

Образцы материала правильной геометрической формы. При определении средней плотности образец материала, предварительно

подготовленный и высушенный при температуре 105...110 °С до постоянной массы (если ГОСТ предусматривает определение плотности в сухом состоянии), взвешивают с погрешностью не более 0,1 г (при массе до 500 г) и не более 1 г (при массе более 500 г).

Объем образца определяют, пользуясь штангенциркулем (при размерах менее 100 мм) или металлической линейкой (при больших размерах). Если образец имеет кубическую форму или форму параллелепипеда, то каждую грань измеряют в трех местах. Окончательный размер каждой грани (a, b, c) вычисляют как среднее арифметическое трех измерений. Объем подсчитывают по формуле

$$V = abc.$$

При вычислении объема цилиндрического образца определяют его диаметр d и высоту h. Для этого на параллельных основаниях цилиндра наносят два взаимно перпендикулярных диаметра. Диаметр образца находят как среднее арифметическое результатов четырех измерений. Высоту цилиндра вычисляют так же, как среднее арифметическое результатов четырех измерений образующих цилиндра, расположенных на концах взаимно перпендикулярных диаметров. Объем цилиндра V (см³) подсчитывают по формуле

$$V = \pi d^2 h / 4,$$

$$\text{где } \pi = 3,14.$$

Зная массу и объем образца, вычисляют его среднюю плотность по формуле.

Образцы неправильной геометрической формы. Среднюю плотность таких образцов определяют методом гидростатического взвешивания или с помощью объемомера.

Метод гидростатического взвешивания основан на использовании закона Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная весу вытесненной им жидкости. Чтобы определить выталкивающую силу, образец взвешивают на воздухе и в жидкости; разность этих весов дает значение выталкивающей силы. Зная плотность жидкости, по выталкивающей силе можно вычислить объем вытесненной образцом жидкости, т.е. объем образца. Поскольку плотность воды равна 1 г/см³, при взвешивании в воде значение выталкивающей силы в граммах численно равно значению объема образца в см³.

При определении средней плотности этим методом приготовленный образец взвешивают, выясняя его массу m . Затем его насыщают водой. Насыщенный образец вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на гидростатических весах (рис.1). Для этого образец на нитке подвешивают к крюку 2, закрепленному на левом конце коромысла 3 весов. Сыпучие материалы помещают в перфорированный стакан 1. После определения массы насыщенного водой образца $m_{\text{нас}}$ (г), не снимая с крючка весов, его погружают в стакан 1 с водой так, чтобы он не касался стенок стакана, и определяют массу гирь, уравнивающих образец в воде $m_{\text{вод}}$ (г). Среднюю плотность материала определяют следующим образом.

В объеммер (рис.2), представляющий собой металлический цилиндр 2, наливают воду до уровня сливной

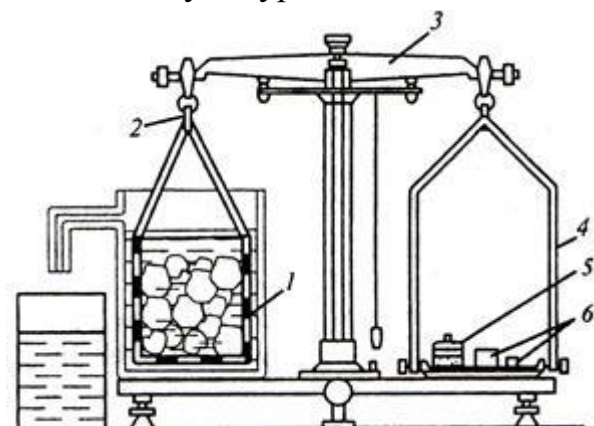


Рис. .1. Гидростатические весы: 1 – перфорированный стакан, 2 – крюк, 3 – коромысло, 4 – чашка для разновесов, 5 – стаканчик с дробью, 6 – разновесы трубки 1, пока из нее не потечет вода.

Когда прекратится падение капель, под трубку ставят предварительно взвешенный (m_3) стеклянный стакан 3. Испытуемый образец на нитке осторожно погружают в объеммер. После того как вода перестанет перетекать в стакан, стакан с водой взвешивают (m_4). Масса воды (g), вытесненной образцом ($m_4 - m_3$), численно равна объему (cm^3) образца с парафином ($V_{o+п}$), так как плотность m_4 воды равна 1 г/см^3 ;

$$V_{o+п} = (m_4 - m_3) / \rho_{\text{H}_2\text{O}} .$$

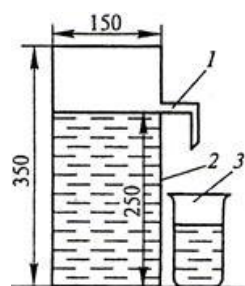


Рис.2. Объеммер: 1 – трубка, 2 – цилиндр, 3 – стакан

Объем образца V_o равен разности между объемом парафинированного образца ($V_{o+п}$) и объемом парафина ($V_{п}$):

$$V_o = V_{o+п} - V_{п} .$$

Объем парафина вычисляют по формуле

$$V_{п} = (m_2 - m_1) / \rho_{п} ,$$

где $\rho_{п}$ – плотность парафина, равная $0,98 \text{ г/см}^3$.

Плотность испытуемого материала будет определяется по формуле

$$\rho_{\text{ж}} = m_1 / V_0 = m_1 / \left[(m_4 - m_3) / \rho_{\text{н.л}} - (m_2 - m_1) / \rho_l \right] \quad (4.2)$$

С помощью объемомера также определяют среднюю плотность, не парафинируя образцы, а насыщая их водой, аналогично методике, описанной выше для гидростатического взвешивания.

Определение насыпной плотности. Насыпную плотность материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 50 л. За объем материала в этом случае принимают объем сосуда.

Крупнозернистые материалы (зерна более 5 мм) засыпают в мерные сосуды вместимостью 5; 10; 20 и 50 л совком или лопаткой с высоты 100 мм без последующего уплотнения. Мелкозернистые материалы (зерна менее 5 мм) насыпают в мерный сосуд вместимостью 1 л с помощью стандартной воронки (рис. 4.3), корпус 1 которой представляет собой металлический усеченный конус, заканчивающийся трубкой 2 с задвижкой 3. Под трубку устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд 4. Расстояние между верхним обрезом сосуда и задвижкой воронки равно 50 мм.

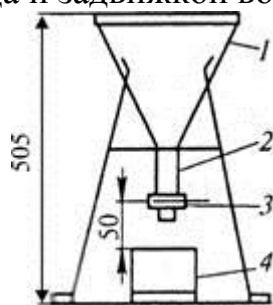


Рис.3. Стандартная воронка: 1 – корпус, 2 – трубка, 3 – задвижка, 4 – мерный сосуд

Мерный сосуд во всех случаях заполняют с избытком, а излишек материала срезают линейкой от середины в обе стороны вровень с краями сосуда. При этом линейку держат наклонно, плотно прижимая к краям сосуда. После удаления излишка материала сосуд с материалом взвешивают. Масса материала будет равна разности масс сосуда с материалом m_2 и пустого сосуда m_1 . Зная массу материала и объем сосуда V ($1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$), находят насыпную плотность по формуле

$$\rho_{\text{на}} = (m_2 - m_1) / V \quad (4.3)$$

Определение истинной плотности. Для расчета истинной плотности материала его нужно получить в абсолютно плотном состоянии (без пор). Простейший способ получить такой материал – измельчить его так, чтобы каждая частица не имела внутри себя пор. Чем выше тонкость измельчения, тем точнее будет определение плотности вещества, из которого состоит материал.

Для определения истинной плотности отвешивают около 200 г тщательно перемешанной средней пробы материала. Навеску высушивают в сушильном шкафу и тонко измельчают в фарфоровой ступке или шаровой мельнице. До проведения испытаний материал хранится в эксикаторе. Истинную плотность

определяют пикнометрическим способом или с помощью прибора Ле Шателье. При всех способах определения плотности погрешность взвешивания не более 0,01 г.

Температура помещения при испытании $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; в противном случае температуру материалов и приборов приводят к 20°C , выдерживая в водяном термостате (термостатируя).

Истинную плотность вычисляют как среднее арифметическое результатов двух испытаний, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³.

Пикнометрическим способом истинную плотность определяют следующим образом. Навеску материала массой 60...80 г высыпают с помощью воронки в чистый высушенный и предварительно взвешенный пикнометр вместимостью 100 см³, после чего взвешивают пикнометр с порошком. Затем в пикнометр наливают инертную по отношению к испытуемому веществу жидкость (воду, масло, керосин). Для удаления воздуха из материала навески и жидкости пикнометр с содержимым выдерживают под вакуумом в эксикаторе до прекращения выделения пузырьков. В случае использования в качестве инертной жидкости воды возможно удалять воздух нагреванием пикнометра на песчаной или водяной бане в течение 15...20 мин для удаления пузырьков воздуха. После этого пикнометр охлаждают до комнатной температуры и доливают жидкость до метки, после чего обтирают мягкой тканью и взвешивают.

Истинную плотность ρ (г/см³) вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2)\rho_{\text{ж}} / [(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)], \quad (4.4)$$

где m_1 – масса пикнометра с навеской порошка, г; m_2 – масса пустого пикнометра, г; m_3 – масса пикнометра с навеской порошка и жидкостью, г; m_4 – масса пикнометра с жидкостью, г; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости при температуре 20°C ; $\rho_{\text{д.в.}}$ – плотность дистиллированной воды, $\rho_{\text{д.в.}} = 1$ г/см³.

Прибор Ле Шателье (рис. 4.4, а) представляет собой стеклянную колбу вместимостью 120...150 см³ с узким высоким горлом и расширением в средней его части. На горле колбы ниже уширения (см. рис. 4.4, а) нанесена метка, а выше – шкала с делениями ценой 0,1 см³. Объем между нижней и первой метками шкалы равен 20 см³ или, что бывает реже, 10 см³.

Истинную плотность определяют с помощью прибора в такой последовательности. Прибор 1 (рис. 4.4, б) помещают в стеклянный сосуд 2 с водой так, чтобы вся его градуированная часть была погружена в воду. Температура воды в сосуде должна соответствовать температуре, при которой был проградуирован прибор (обычно 20°C). Термостатирование не нужно, если температура помещения составляет $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Чтобы прибор не всплывал, его закрепляют в штативе 3. Прибор наполняют водой или другой жидкостью, инертной по отношению к испытуемому материалу (например, для цемента – керосином), до нижней метки. Точного заполнения можно добиться, заливая жидкость с небольшим избытком и затем отсасывая ее фильтровальной

бумагой. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтровальной бумаги.

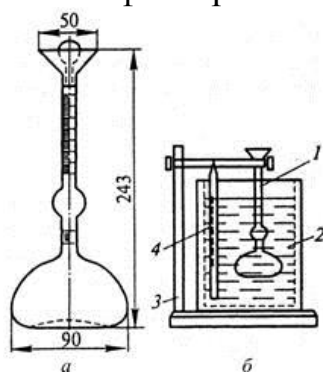


Рис.4. Прибор Ле Шателье (а) и вид прибора в рабочем состоянии (б):
1 – объемомер, 2 – сосуд с водой, 3 – штатив, 4 – термометр

На технических весах в стаканчике взвешивают навеску порошка испытуемого материала массой около 70 г с погрешностью не более 0,01 г. Порошок всыпают в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка со стаканчиком взвешивают.

Для удаления пузырьков воздуха, попавшего в жидкость вместе с порошком, прибор вынимают из сосуда с водой и поворачивают в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. После этого его снова помещают в сосуд с водой не менее чем на 10 мин для термостатирования и определяют уровень жидкости в приборе.

Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему всыпанного порошка V (см³). Истинную плотность исследуемого материала ρ вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2)/V, \quad (4.5)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком, г; m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком, г.

Порядок выполнения работы и содержание отчета

Задания:

1. Определим массу тела при помощи рычажных весов.

Определите массу тела и запишите ее с учетом абсолютной погрешности.

$$m_{\text{изм.}} = \dots \text{ г}$$

$\Delta m_{\text{весов}} = \dots \text{ г}$ (Определяется по графику зависимости погрешности весов от их нагрузки)

$$\Delta m_{\text{подбора гири}} = 0,05 \text{ г}$$

$$\Delta m = \Delta m_{\text{весов}} + \Delta m_{\text{подбора гири}} = \dots \text{ Г.}$$

$$m = (\dots \pm \dots) \text{ г}$$

2. Определим объём тела при помощи измерительного цилиндра.

а) Объём жидкости в цилиндре равен:

$$V_1 = (\dots \pm \dots) \text{мл} = (\dots \pm \dots) \text{см}^3$$

б) Объём жидкости и тела равен:

$$V_2 = (\dots \pm \dots) \text{мл} = (\dots \pm \dots) \text{см}^3$$

в) Объём тела равен

$$V = V_2 - V_1$$

Определим абсолютную погрешность, с которой проведено данное определение объема.

Воспользуйтесь таблицей «Формулы погрешностей». Объем определяется, как разность двух физических величин – V_2 и V_1 , поэтому для подсчета ее абсолютной погрешности выберем формулу:

$$\Delta(X-Y) = \Delta X + \Delta Y, \quad \Delta(V_2 - V_1) = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \dots$$

см³

Запишите полученную величину тела с учётом абсолютной погрешности.

$$V = (\dots \pm \dots) \text{см}^3$$

3. Определим плотность тела, пользуясь формулой: $\rho = m/V$

$$\rho = \dots \text{г/см}^3$$

Определим абсолютную погрешность, с которой проведено данное определение плотности.

Воспользуйтесь таблицей «Формулы погрешностей». Плотность определяется, как частное двух физических величин – массы и объёма, поэтому для подсчета ее абсолютной погрешности выберем формулу:

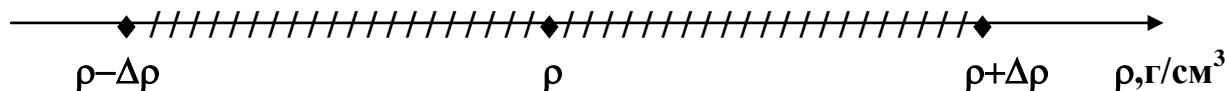
$$\Delta(X/Y) = \frac{X\Delta Y + Y\Delta X}{Y^2}, \quad \Delta(m/V) = \frac{m\Delta V + V\Delta m}{V^2} =$$

... г/см³

Запишите полученную плотность тела с учётом абсолютной погрешности.

$$\rho = (\dots \pm \dots) \text{г/см}^3$$

3. Графически иллюстрируем полученный результат.



Пользуясь таблицами плотностей, определите вещество, плотность которого принадлежит заштрихованному промежутку. $\rho_{\text{табличное}} = \dots \text{г/см}^3$

Отметьте точку соответствующую данной плотности на графике.

Выводы по работе:

1. С учетом погрешности выполненных измерений, назовите вещество из которого изготовлено тело.

Дополнительное задание.

1. Определите относительную погрешность данного измерения.
2. Как по-другому можно рассчитать абсолютную погрешность измерения плотности?

Полученное на основе опыта значение плотности тела сравните с табличным значением плотности из § 21 и запишите в таблицу название вещества, из которого изготовлено тело.

Название вещества	Масса тела m , г	Объем тела V , см ³	Плотность вещества	
			г/см ³	кг/м ³

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель работы.
2. Перечислите основные измерительные операции и их последовательность.
3. Выведите формулу для плотности образца, имеющего цилиндрическую форму.
4. Что такое нониус?
5. Что называется постоянной нониуса, и как она определяется?
6. Как определить цену деления на барабане микрометра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Тема: Определение плотности материала с помощью лабораторных измерений

Цель: Лабораторным путем определить плотность твердых материалов. Приобрести навыки и умения работы с измерительными приборами

Оборудование: исследуемые бруски (металлический, деревянный или пластмассовый); гирька на нитке; весы с разновесом; штангенциркуль; гидростатические весы; ареометр; объемомер; прибор Ле Шателье; мерительная мензурка.

Справочный материал

Плотностью называется масса единицы объема материала. Чтобы вычислить плотность ρ (кг/м³), надо знать массу материала m (кг) и его объем V (м³):

$$\rho = m/V.$$

Большинство строительных материалов – пористые материалы, т.е. в их объеме помимо твердого вещества находятся воздушные ячейки (поры), заполненные воздухом, плотность которого несравнимо ниже плотности твердого вещества. Поэтому для строительных материалов определяют две характеристики: истинную и среднюю плотности.

Истинной плотностью ρ называют плотность того вещества, из которого состоит материал. При расчете объем материала вычисляют без пор и пустот $V_{ТВ}$. Истинная плотность – физическая константа вещества.

Средней плотностью ρ_m материала называют плотность, когда при расчете берется его полный объем в естественном состоянии $V_{ест}$, включая поры и пустоты.

Для характеристики материалов, состоящих из отдельных зерен (цемент, песок, гравий), используют так называемую насыпную плотность.

Насыпная плотность $\rho_{нас}$ – характеристика сыпучих (зернистых, порошкообразных), когда для расчета берется весь занимаемый ими объем, включая и пространства между частицами. На среднюю и насыпную плотность материала влияет его влажность. Вода замещает воздух в порах материала и адсорбируется на поверхности его зерен, и поэтому, как правило, чем больше влажность материала, тем больше его плотность. Для каждого материала ГОСТы устанавливают влажность, при которой определяется его плотность.

Например, плотность тяжелого бетона определяют при его естественной влажности и в сухом состоянии.

Определение средней плотности. Метод определения средней плотности зависит от геометрической формы образца материала: правильной (куб, параллелепипед, цилиндр) и неправильной.

Образцы материала правильной геометрической формы. При определении средней плотности образец материала, предварительно

подготовленный и высушенный при температуре 105...110 °С до постоянной массы (если ГОСТ предусматривает определение плотности в сухом состоянии), взвешивают с погрешностью не более 0,1 г (при массе до 500 г) и не более 1 г (при массе более 500 г).

Объем образца определяют, пользуясь штангенциркулем (при размерах менее 100 мм) или металлической линейкой (при больших размерах). Если образец имеет кубическую форму или форму параллелепипеда, то каждую грань измеряют в трех местах. Окончательный размер каждой грани (a, b, c) вычисляют как среднее арифметическое трех измерений. Объем подсчитывают по формуле

$$V = abc.$$

При вычислении объема цилиндрического образца определяют его диаметр d и высоту h. Для этого на параллельных основаниях цилиндра наносят два взаимно перпендикулярных диаметра. Диаметр образца находят как среднее арифметическое результатов четырех измерений. Высоту цилиндра вычисляют так же, как среднее арифметическое результатов четырех измерений образующих цилиндра, расположенных на концах взаимно перпендикулярных диаметров. Объем цилиндра V (см³) подсчитывают по формуле

$$V = \pi d^2 h / 4,$$

$$\text{где } \pi = 3,14.$$

Зная массу и объем образца, вычисляют его среднюю плотность по формуле.

Образцы неправильной геометрической формы. Среднюю плотность таких образцов определяют методом гидростатического взвешивания или с помощью объемомера.

Метод гидростатического взвешивания основан на использовании закона Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная весу вытесненной им жидкости. Чтобы определить выталкивающую силу, образец взвешивают на воздухе и в жидкости; разность этих весов дает значение выталкивающей силы. Зная плотность жидкости, по выталкивающей силе можно вычислить объем вытесненной образцом жидкости, т.е. объем образца. Поскольку плотность воды равна 1 г/см³, при взвешивании в воде значение выталкивающей силы в граммах численно равно значению объема образца в см³.

При определении средней плотности этим методом приготовленный образец взвешивают, выясняя его массу m . Затем его насыщают водой. Насыщенный образец вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на гидростатических весах (рис.1). Для этого образец на нитке подвешивают к крюку 2, закрепленному на левом конце коромысла 3 весов. Сыпучие материалы помещают в перфорированный стакан 1. После определения массы насыщенного водой образца $m_{\text{нас}}$ (г), не снимая с крючка весов, его погружают в стакан 1 с водой так, чтобы он не касался стенок стакана, и определяют массу гирь, уравнивающих образец в воде $m_{\text{вод}}$ (г). Среднюю плотность материала определяют следующим образом.

В объеммер (рис.2), представляющий собой металлический цилиндр 2, наливают воду до уровня сливной

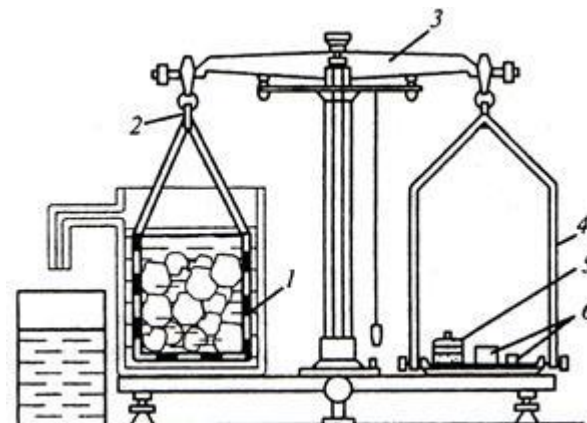


Рис. 1. Гидростатические весы: 1 – перфорированный стакан, 2 – крюк, 3 – коромысло, 4 – чашка для разновесов, 5 – стаканчик с дробью, 6 – разновесы трубки 1, пока из нее не потечет вода.

Когда прекратится падение капель, под трубку ставят предварительно взвешенный (m_3) стеклянный стакан 3. Испытуемый образец на нитке осторожно погружают в объеммер. После того как вода перестанет перетекать в стакан, стакан с водой взвешивают (m_4). Масса воды (г), вытесненной образцом ($m_4 - m_3$), численно равна объему (см³) образца с парафином (V_{o+p}), так как плотность m_4 воды равна 1 г/см³;

$$V_{o+p} = (m_4 - m_3) / \rho_{\text{H}_2\text{O}}.$$

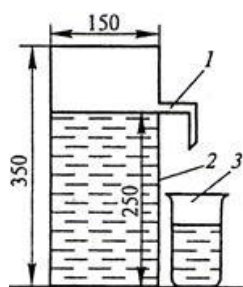


Рис.2. Объеммер: 1 – трубка, 2 – цилиндр, 3 – стакан

Объем образца V_o равен разности между объемом парафинированного образца (V_{o+p}) и объемом парафина (V_p):

$$V_o = V_{o+p} - V_p.$$

Объем парафина вычисляют по формуле

$$V_p = (m_2 - m_1) / \rho_p,$$

где ρ_p – плотность парафина, равная 0,98 г/см³.

Плотность испытуемого материала будет определяется по формуле

$$\rho_x = m_1 / V_o = m_1 / \left[(m_4 - m_3) / \rho_{\text{H}_2\text{O}} - (m_2 - m_1) / \rho_p \right] \quad (4.2)$$

С помощью объеммера также определяют среднюю плотность, не парафинируя образцы, а насыщая их водой, аналогично методике, описанной выше для гидростатического взвешивания.

Определение насыпной плотности. Насыпную плотность материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 50 л. За объем материала в этом случае принимают объем сосуда.

Крупнозернистые материалы (зерна более 5 мм) засыпают в мерные сосуды вместимостью 5; 10; 20 и 50 л совком или лопаткой с высоты 100 мм без последующего уплотнения. Мелкозернистые материалы (зерна менее 5 мм) насыпают в мерный сосуд вместимостью 1 л с помощью стандартной воронки (рис. 4.3), корпус 1 которой представляет собой металлический усеченный конус, заканчивающийся трубкой 2 с задвижкой 3. Под трубку устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд 4. Расстояние между верхним обрезом сосуда и задвижкой воронки равно 50 мм.

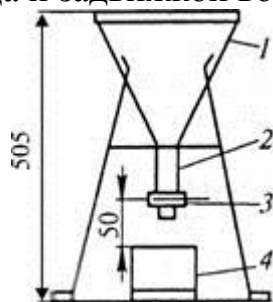


Рис.3. Стандартная воронка: 1 – корпус, 2 – трубка, 3 – задвижка, 4 – мерный сосуд

Мерный сосуд во всех случаях заполняют с избытком, а излишек материала срезают линейкой от середины в обе стороны вровень с краями сосуда. При этом линейку держат наклонно, плотно прижимая к краям сосуда. После удаления излишка материала сосуд с материалом взвешивают. Масса материала будет равна разности масс сосуда с материалом m_2 и пустого сосуда m_1 . Зная массу материала и объем сосуда V ($1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$), находят насыпную плотность по формуле

$$\rho_{\text{на}} = (m_2 - m_1) / V. \quad (4.3)$$

Определение истинной плотности. Для расчета истинной плотности материала его нужно получить в абсолютно плотном состоянии (без пор). Простейший способ получить такой материал – измельчить его так, чтобы каждая частица не имела внутри себя пор. Чем выше тонкость измельчения, тем точнее будет определение плотности вещества, из которого состоит материал.

Для определения истинной плотности отвешивают около 200 г тщательно перемешанной средней пробы материала. Навеску высушивают в сушильном шкафу и тонко измельчают в фарфоровой ступке или шаровой мельнице. До проведения испытаний материал хранится в эксикаторе. Истинную плотность определяют пикнометрическим способом или с помощью прибора Ле Шателье. При всех способах определения плотности погрешность взвешивания не более 0,01 г.

Температура помещения при испытании $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; в противном случае температуру материалов и приборов приводят к 20°C , выдерживая в водяном термостате (термостатируя).

Истинную плотность вычисляют как среднее арифметическое результатов двух испытаний, расхождение между которыми не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$.

Пикнометрическим способом истинную плотность определяют следующим образом. Навеску материала массой $60 \dots 80 \text{ г}$ высыпают с помощью воронки в чистый высушенный и предварительно взвешенный пикнометр вместимостью 100 см^3 , после чего взвешивают пикнометр с порошком. Затем в пикнометр наливают инертную по отношению к испытываемому веществу жидкость (воду, масло, керосин). Для удаления воздуха из материала навески и жидкости пикнометр с содержимым выдерживают под вакуумом в эксикаторе до прекращения выделения пузырьков. В случае использования в качестве инертной жидкости воды возможно удалять воздух нагреванием пикнометра на песчаной или водяной бане в течение $15 \dots 20 \text{ мин}$ для удаления пузырьков воздуха. После этого пикнометр охлаждают до комнатной температуры и доливают жидкость до метки, после чего обтирают мягкой тканью и взвешивают.

Истинную плотность ρ (г/см^3) вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2)\rho_{\text{ж}} / [(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)], \quad (4.4)$$

где m_1 – масса пикнометра с навеской порошка, г; m_2 – масса пустого пикнометра, г; m_3 – масса пикнометра с навеской порошка и жидкостью, г; m_4 – масса пикнометра с жидкостью, г; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости при температуре 20°C ; $\rho_{\text{д.в.}}$ – плотность дистиллированной воды, $\rho_{\text{д.в.}} = 1 \text{ г/см}^3$.

Прибор Ле Шателье (рис. 4.4, а) представляет собой стеклянную колбу вместимостью $120 \dots 150 \text{ см}^3$ с узким высоким горлом и расширением в средней его части. На горле колбы ниже уширения (см. рис. 4.4, а) нанесена метка, а выше – шкала с делениями ценой $0,1 \text{ см}^3$. Объем между нижней и первой метками шкалы равен 20 см^3 или, что бывает реже, 10 см^3 .

Истинную плотность определяют с помощью прибора в такой последовательности. Прибор 1 (рис. 4.4, б) помещают в стеклянный сосуд 2 с водой так, чтобы вся его градуированная часть была погружена в воду. Температура воды в сосуде должна соответствовать температуре, при которой был проградуирован прибор (обычно 20°C). Термостатирование не нужно, если температура помещения составляет $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Чтобы прибор не всплывал, его закрепляют в штативе 3. Прибор наполняют водой или другой жидкостью, инертной по отношению к испытываемому материалу (например, для цемента – керосином), до нижней метки. Точного заполнения можно добиться, заливая жидкость с небольшим избытком и затем отсасывая ее фильтровальной бумагой. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтровальной бумаги.

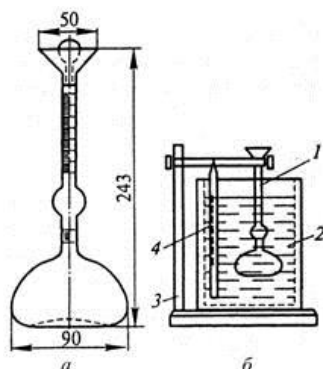


Рис.4. Прибор Ле Шателье (а) и вид прибора в рабочем состоянии (б):
1 – объемомер, 2 – сосуд с водой, 3 – штатив, 4 – термометр

На технических весах в стаканчике взвешивают навеску порошка испытуемого материала массой около 70 г с погрешностью не более 0,01 г. Порошок всыпают в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка со стаканчиком взвешивают.

Для удаления пузырьков воздуха, попавшего в жидкость вместе с порошком, прибор вынимают из сосуда с водой и поворачивают в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. После этого его снова помещают в сосуд с водой не менее чем на 10 мин для термостатирования и определяют уровень жидкости в приборе.

Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему всыпанного порошка V (см³). Истинную плотность исследуемого материала ρ вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2)/V, \quad (4.5)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком, г; m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком, г.

Порядок выполнения работы и содержание отчета

Задания:

1. Определим массу тела при помощи рычажных весов.

Определите массу тела и запишите ее с учетом абсолютной погрешности.

$$m_{\text{изм.}} = \dots \text{ г}$$

$$\Delta m_{\text{весов}} = \dots \text{ г} \quad (\text{Определяется по графику зависимости погрешности весов от их нагрузки})$$

$$\Delta m_{\text{подбора гирь}} = 0,05 \text{ г}$$

$$\Delta m = \Delta m_{\text{весов}} + \Delta m_{\text{подбора гирь}} = \dots \text{ г.}$$

$$m = (\dots \pm \dots) \text{ г}$$

3. Определим объём тела при помощи измерительного цилиндра.

а) Объём жидкости в цилиндре равен:

$$V_1 = (\dots \pm \dots) \text{ мл} = (\dots \pm \dots) \text{ см}^3$$

б) Объём жидкости и тела равен:

$$V_2 = (\dots + \pm \dots) \text{мл} = (\dots \pm \dots) \text{см}^3$$

в) Объём тела равен

$$V = V_2 - V_1$$

Определим абсолютную погрешность, с которой проведено данное определение объема.

Воспользуйтесь таблицей «Формулы погрешностей». Объем определяется, как разность двух физических величин – V_2 и V_1 , поэтому для подсчета ее абсолютной погрешности выберем формулу:

$$\Delta(X-Y) = \Delta X + \Delta Y, \quad \Delta(V_2 - V_1) = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \dots \text{см}^3$$

Запишите полученную величину тела с учётом абсолютной погрешности.

$$V = (\dots \pm \dots) \text{см}^3$$

3. Определим плотность тела, пользуясь формулой: $\rho = m/V$

$$\rho = \dots \text{г/см}^3$$

Определим абсолютную погрешность, с которой проведено данное определение плотности.

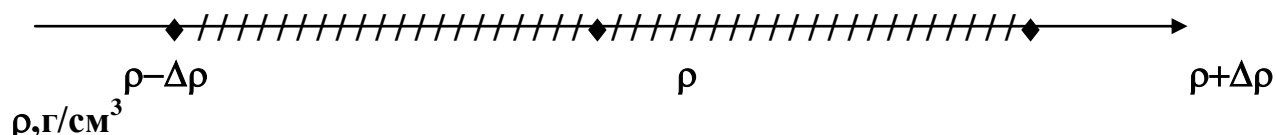
Воспользуйтесь таблицей «Формулы погрешностей». Плотность определяется, как частное двух физических величин – массы и объёма, поэтому для подсчета ее абсолютной погрешности выберем формулу:

$$\Delta(X/Y) = \frac{X\Delta Y + Y\Delta X}{Y^2}, \quad \Delta(m/V) = \frac{m\Delta V + V\Delta m}{V^2} = \dots \text{г/см}^3$$

Запишите полученную плотность тела с учётом абсолютной погрешности.

$$\rho = (\dots + \dots) \text{г/см}^3$$

4. Графически иллюстрируем полученный результат.



Пользуясь таблицами плотностей, определите вещество, плотность которого принадлежит заштрихованному промежутку. $\rho_{\text{табличное}} = \dots \text{г/см}^3$

Отметьте точку соответствующую данной плотности на графике.

Выводы по работе:

2. С учетом погрешности выполненных измерений, назовите вещество из которого изготовлено тело.

Дополнительное задание.

5. Определите относительную погрешность данного измерения.

6. Как по-другому можно рассчитать абсолютную погрешность измерения плотности?

Полученное на основе опыта значение плотности тела сравните с табличным значением плотности из § 21 и запишите в таблицу название вещества, из которого изготовлено тело.

Название вещества	Масса тела m , г	Объем тела V , см ³	Плотность вещества	
			г/см ³	кг/м ³

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель работы.
2. Перечислите основные измерительные операции и их последовательность.
3. Выведите формулу для плотности образца, имеющего цилиндрическую форму.
4. Что такое нониус?
5. Что называется постоянной нониуса, и как она определяется?
6. Как определить цену деления на барабане микрометра?
7. Как проверить правильность установки нуля микрометра?
8. Какова последовательность операций при взвешивании на электронных весах?

Информационное обеспечение обучения

Печатные издания

Основные учебные издания

1. Алексеев, В. С. Материаловедение : учебное пособие для СПО / В. С. Алексеев. — Саратов : Научная книга, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-9758-1894-2. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/87077>
2. Земсков Ю. П. Материаловедение: учебное пособие для СПО / Ю. П. Земсков, Е. В. Асмолова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-8482-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176895>.
3. Мельников, А. Г. Материаловедение : учебное пособие для СПО / А. Г. Мельников, И. А. Хворова, Е. П. Чинков. — Саратов : Профобразование, 2021. — 223 с. — ISBN 978-5-4488-0919-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/99930>
4. Материаловедение: учебник для СПО / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко [и др.]. — Саратов, Москва : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 356 с. — ISBN 978-5-4488-0866-1, 978-5-4497-0618-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/96962.html>.
5. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин; под редакцией Ю. П. Солнцева. — 7-е изд. — Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2020. — 783 с. — ISBN 078-5-93808-345-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97813.html>.

Дополнительные учебные издания:

6. Кузьмин, О. В. Материаловедение: учебное пособие / О. В. Кузьмин, В. И. Новиков. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2020. — 118 с. — ISBN 978-5-9227-1075-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/108048.html>.
7. Морозова, Е. А. Основы металловедения и термической обработки металлов: учебное пособие для СПО / Е. А. Морозова, В. С. Муратов. — Саратов: Профобразование, 2021. — 206 с. — ISBN 978-5-4488-1235-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/106841.html>.
8. Пасютина, О. В. Материаловедение : учебное пособие / О. В. Пасютина. — 2-е изд., испр. — Минск : РИПО, 2020. — 264 с. — ISBN 978-985-7234-48-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/154173>.

9. Сапунов, С. В. Материаловедение: учебное пособие для СПО / С. В. Сапунов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-7909-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167188>.

10. Тимофеев, И. А. Электротехнические материалы и изделия: учебное пособие для СПО / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-6836-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/>.

Электронные издания (электронные ресурсы)

11. Электронно-библиотечная система <https://profspo.ru/catalog>
12. Лань: электронно-библиотечная система: <https://e.lanbook.com>
13. Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: <https://book.ru>