

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Строительные материалы
и технология строительства»

М. Г. Бортницкая
Н. С. Гуриненко
Т. А. Чистова

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

В 2 частях

Часть 1

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением высших
учебных заведений Республики Беларусь по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2021

УДК 691 (076.5)
ББК 38.3я7
С86

Р е ц е н з е н т ы:

зав. кафедры «Физикохимия материалов и производственные технологии» Белорусского государственного экономического университета, д-р хим. наук, профессор *Н. П. Матвейко*;
гл. науч. сотрудник ГП «БелдорНИИ», д-р техн. наук,
профессор *В. Н. Яромко*

Бортницкая, М. Г.

С86 Строительное материаловедение. Практикум : учебно-методическое пособие : в 2 ч. / М. Г. Бортницкая, Н. С. Гуриненко, Т. А. Чистова. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 1.: Физико-механические свойства строительных материалов. – 54 с.
ISBN 978-985-583-203-5 (Ч. 1).

Учебно-методическое пособие содержит описание методов определения основных физико-механических свойств строительных материалов, а также сведения о качестве строительных материалов. Предназначено для студентов строительных специальностей высших учебных заведений.

УДК 691 (076.5)
ББК 38.3я7

ISBN 978-985-583-203-5 (Ч. 1)
ISBN 978-985-583-204-2

© Бортницкая М. Г., Гуриненко Н. С.,
Чистова Т. А., 2021
© Белорусский национальный
технический университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Основные физические свойства строительных материалов и изделий	4
Задание 1.1. Определение истинной плотности	4
Задание 1.2. Определение средней плотности	9
Задание 1.3. Определение пористости строительных материалов	11
Задание 1.4. Определение насыпной плотности и пустотности	14
Задание 1.5. Определение влажности	19
Задание 1.6. Определение водопоглощения по массе и по объему. Расчет закрытой пористости материала и коэффициента насыщения	21
Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы	24
Лабораторная работа № 2. Основные механические свойства строительных материалов и изделий	26
Задание 2.1. Определение абсолютной и относительной деформации	34
Задание 2.2. Определение твердости металлов по методу Бринелля	38
Задание 2.3. Определение твердости горных пород	42
Задание 2.4. Определение предела прочности при сжатии и расчет коэффициента конструктивного качества $K_{кк}$	43
Задание 2.5. Определение предела прочности при статическом изгибе	45
Задание 2.6. Определение ударной прочности (сопротивления удару)	47
Задание 2.7. Определение истираемости	50
Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы	52
Литература	53
Приложение 1	54

Лабораторная работа № 1

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратурой, оборудованием, методикой проведения испытаний по определению физических свойств.
2. Научиться определять основные физические свойства строительных материалов.
3. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Какие свойства относятся к физическим?
3. Что такое структура материала? Виды структур строительных материалов.
4. Какие физические свойства относятся к структурным?
5. Какие физические свойства зависят от структуры материала?
6. Какие свойства материала относятся к гидрофизическим?
7. Какие свойства материала относятся к теплофизическим?

Структурно-физические свойства

Задание 1.1. Определение истинной плотности

Истинная плотность или плотность вещества (абсолютная плотность) – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии. Это значит, что при измерении объема в него не входят поры, пустоты, трещины и другие полости, присущие материалу в естественном состоянии.

$$\rho_{\text{и}} = \frac{m}{V_{\text{абс}}}, \quad (1.1)$$

где $\rho_{\text{и}}$ – истинная плотность, г/см³;

m – масса вещества, г;

$V_{\text{абс}}$ – абсолютный объем, см³.

Следовательно, истинная плотность – это характеристика не материала, а вещества, из которого состоит материал. Истинная плотность – характеристика постоянная (физическая константа), которая не может быть изменена без изменения его химического состава или молекулярной структуры. Для большинства строительных материалов значение истинной плотности более 1 г/см³. Например, для природных и искусственных каменных материалов – 2,2...3,3 г/см³; для органических (дерево, битум, пластмассы) – 0,8...1,6 г/см³; черных металлов – более 7,0 г/см³. Для жидкостей и материалов, полученных из расплавленных масс (металл, стекло, некоторые горные породы: гранит, базальт и др.), истинная плотность практически соответствует их плотности в естественном состоянии, так как объем внутренних пор у них незначителен. Для строительных материалов истинная плотность имеет вспомогательное значение. Ее используют при вычислении показателей плотности и пористости материалов, в расчетах состава бетона и т.п.

В табл. 1.1 приведены значения истинной плотности некоторых строительных материалов.

Таблица 1.1

Истинная плотность строительных материалов

Материал	Истинная плотность, г/см ³
Сталь	7,85...7,90
Цемент	3,05...3,15
Гранит	2,70...2,80
Мрамор	2,70...2,73
Керамзит	2,65...2,84
Кирпич керамический	2,65...2,84
Кирпич силикатный	2,60...2,70
Бетон тяжелый	2,60...2,90
Бетон ячеистый	2,50...2,60

Материал	Истинная плотность, г/см ³
Щебень	2,60...2,70
Песок	2,50...2,60
Гравий	2,50...2,60
Пеностекло	2,50...2,60
Древесина сосны	1,54...1,55
Пенополистирол	1,00...1,20

Чтобы определить **истинную плотность** необходимо высушить и измельчить пробу материала. Чем больше степень измельчения, тем плотнее расположены частицы в объеме и тем *меньше ошибка* эксперимента.

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью взвешивания 0,01 г.
2. Прибор Ле Шателье (объемомер).
3. Шкаф сушильный.
4. Стаканчик для взвешивания.
5. Эксикатор.
6. Дистиллированная вода или керосин.
7. Навески измельченных материалов (кирпича керамического, кирпича силикатного, гранита, песка кварцевого, цемента).

Методика испытаний

Подготавливают пробу измельченного материала массой 150...200 г, всыпают в бюкс (рис. 1.1) для взвешивания, высушивают до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой. Затем отвешивают с точностью до 0,01 г две навески массой по 50 г каждая.

Определение истинной плотности проводят в следующей последовательности.

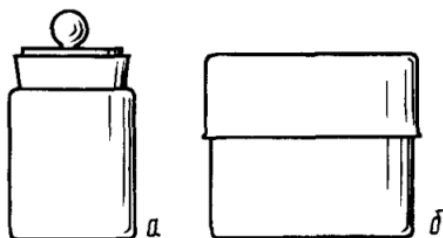


Рис. 1.1. Бюксы:
a – с внутренним шлифом; *б* – с наружным шлифом

Прибор Ле Шателье (объемомер) (рис. 1.2) заполняют водой до нижней отметки, при этом уровень воды определяют по нижнему мениску. Объемомер представляет собой стеклянную колбу вместимостью 120...150 см³ с узким высоким горлом и расширением в средней ее части. На горле колбы ниже уширения нанесена метка, а выше – шкала с делениями ценой 0,1 см³. Объем между нижней и верхней метками равен 20 см³. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтрованной бумаги.

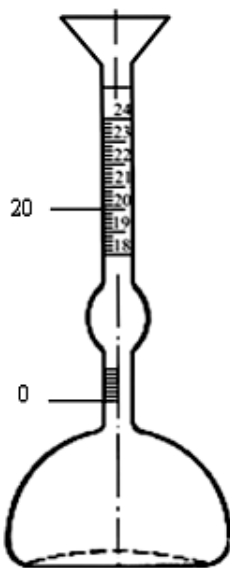


Рис. 1.2. Прибор Ле Шателье

Навеску порошка через воронку прибора ложечкой всыпают небольшими порциями до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до риски с делением 20 см³ или с другим делением в пределах верхней градуировочной шкалы прибора. Прибор рекомендуется слегка встряхнуть для удаления пузырьков воздуха, попавшего вместе с порошком.

Остаток порошка с бюксом взвешивают.

Истинную плотность $\rho_{и}$ вычисляют по формуле:

$$\rho_{и} = \frac{m - m_1}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (1.2)$$

где m – масса высушенной навески порошка, г;

m_1 – масса остатка порошка после высыпания, г;

V – объем воды, вытесненной порошком, см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.2 и сравнивают полученные опытные данные со справочными, приведенными в табл. 1.1. и прил. 1.

Таблица 1.2

Результаты определения истинной плотности

Определения	Кирпич керамический	Кирпич силикатный	Гранит	Песок кварцевый
Масса навески порошка m , г				
Масса остатка порошка m_1 , г				
Масса порошка в объемомере $m - m_1$, г				
Объем порошка V , см ³				
Истинная плотность, $\rho_{и}$, г/см ³				
Истинная плотность $\rho_{и}$, кг/см ³				

Определение истинной плотности цемента

По ГОСТ 30744-2001 истинную плотность цемента определяют используя прибор Ле Шателье и керосин, как жидкость, инертную по отношению к цементу. Прибор Ле Шателье наполняют обезвоженным керосином до нулевой черты по нижнему мениску. После

этого свободную от керосина часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Навеску цемента массой 65 г высыпают в прибор Ле Шателье ложечкой через воронку небольшими равномерными порциями. Для удаления пузырьков воздуха прибор поворачивают в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврик. Затем проводят отсчет уровня жидкости по нижнему мениску в верхней градуированной части прибора.

Плотность цемента $\rho_{ц}$ вычисляют по формуле

$$\rho_{ц} = \frac{m_{ц}}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (1.3)$$

где $m_{ц}$ – масса навески цемента, г;

V – объем керосина, вытесненного цементом, см^3 .

За плотность цемента принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$. Результат вычисления округляют до $0,01 \text{ г/см}^3$.

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 1.2. Определение средней плотности

Средняя плотность (плотность материала) – масса единицы объема материала в естественном состоянии, т. е. объем материала измеряется вместе с имеющимися в нем порами и пустотами. Рассчитывается средняя плотность ρ_c путем деления массы образца m на его объем V_c в естественном состоянии.

$$\rho_c = \frac{m}{V_c}. \quad (1.4)$$

При определении средней плотности объем материала устанавливают по внешним размерам образца или по объему вытесненной им жидкости, если испытываемый образец имеет неправильную форму.

Средняя плотность материалов зависит от их вида и структуры и может изменяться в достаточно широких пределах: от 10 кг/м^3 (для отдельных видов пенопластов) до 7850 кг/м^3 (сталь) и более.

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью измерения 1 г и 0,1 г.
2. Линейки измерительные или штангенциркуль.
3. Объемомер.
4. Образцы материалов.

Методика испытаний

Образцы материала, предварительно высушенные до постоянной массы, взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г (при массе до 500 г) и с точностью до 1 г (при массе более 500 г).

Геометрические размеры образцов *правильной формы* измеряют штангенциркулем с точностью 0,1 мм, если величина замера не превышает 100 мм, и точностью 1 мм, если величина замера свыше 100 мм. По этим линейным размерам вычисляют объем образцов в естественном состоянии.

Объем образцов *неправильной формы* определяют с помощью объемомера по объему (массе) жидкости, вытесненной погруженным в объемомер образцом (рис. 1.3). Рабочая жидкость (вода, бензин, керосин, спирт) не должна взаимодействовать с образцом.

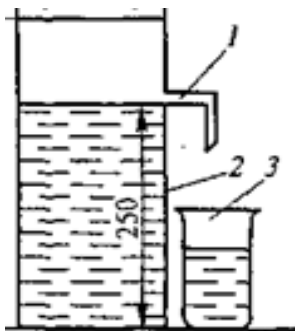


Рис 1.3. Объемомер:
1 – сливная трубка, 2 – цилиндр, 3 – стакан

Следует создать такие условия, при которых жидкость вытесняется всем объемом образца и исключается возможность ее поглощения порами материала. Это обеспечивается двумя способами:

- поверхность образца покрывают слоем парафина, препятствующим проникновению жидкости внутрь образца в момент проведения испытания;

- образец предварительно (в течение 48 часов) насыщают жидкостью, чтобы во время опыта поглощение образцом жидкости почти не наблюдалось.

Результат испытаний

Результаты определения заносят в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты определения средней плотности

Показатели	Пеностекло	Древесина	Кирпич керамический	Кирпич силикатный	Гранит
Масса сухого образца m , г					
Объем образца V_e , см ³					
Средняя плотность ρ_c , г/см ³					
Средняя плотность ρ_c , кг/м ³					

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 1.3. Определение пористости строительных материалов

Для оценки влияния структуры на свойства материала применяют понятие пористости. У подавляющего большинства строительных материалов значение средней плотности всегда меньше истинной, так как на одну и ту же единицу массы приходится больший объем. Например, у кирпича средняя плотность 1800 кг/м³, а истин-

ная плотность 2600 кг/м^3 (в 1,5 раза меньше), у древесины (сосна) соответственно 450 кг/м^3 и 1540 кг/м^3 (в 3 раза меньше), у гранита – $\rho_c = 2500 \dots 2700 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{и} = 2700 \dots 3000 \text{ кг/м}^3$ (почти одинакова).

Чем больше разница между средней и истинной плотностью, тем больше пористость. Если у кирпича пористость составляет 30 %, то у газобетона – 80 %, при истинной плотности 2600 кг/м^3 и средней – 520 кг/м^3 .

Под **пористостью** материала понимают степень заполнения его объема порами. Пористость строительных материалов колеблется в довольно широких пределах – от 0 % до 90 % и более. Например, для стекла и металла пористость составляет практически 0 %, пенопластов – 92...98 %, кирпича полнотелого – 30...35 %, пенобетона – 60...80 %, минеральной ваты – до 95 %, древесины – 50...75 %.

По показателям пористости различают:

- низкопористые ($II \leq 30 \%$);
- среднепористые ($II = 30 \dots 50 \%$);
- высокопористые ($II > 50 \%$) материалы.

Большое влияние на свойства материала оказывает не только обшая величина пористости, но и геометрическая и структурная характеристики пор. Поры в материалах могут быть крупные и мелкие; открытые, закрытые и сообщающиеся; в виде ячеек и капилляров и др. Они могут быть заполнены воздухом, во влажном состоянии – водой, при отрицательных температурах – льдом. С теплозащитной точки зрения лучше поры мелкие, замкнутые и равномерно распределенные по всему объему материала. Пористость и плотность являются важными характеристиками строительных материалов. С ними связаны такие свойства как водопоглощение, теплопроводность, влажность, водопроницаемость, морозостойкость, прочность и др.

В табл. 1.4 приведены значения средней и истинной плотности некоторых строительных материалов.

Таблица 1.4

Средняя и истинная плотность строительных материалов

Наименование материала	Плотность средняя ρ_c , кг/м^3	Плотность истинная $\rho_{и}$, кг/м^3
Древесина (сосна)	400...500	1530
Стекло оконное листовое	2550	2550

Наименование материала	Плотность средняя ρ_c , кг/м ³	Плотность истинная $\rho_{и}$, кг/м ³
Пеностекло (ячеистое стекло)	150...500	2550
Бетон ячеистый	500	2580
Бетон цементный тяжелый	2200...2400	2600
Кирпич силикатный	1800...2000	2600
Кирпич керамический	1600...1900	2600...2840
Кирпич керамический поризованный	900...1200	2600...2840
Гранит	2500...2900	2700...3000
Сталь	7850	7850
Алюминий	2600	2600
Песок кварцевый $\rho_{нас} = 1500...1700$ кг/м ³	2500...2600	2500...2600
Цемент $\rho_{нас} = 1100...1200$ кг/м ³	3000...3100	3000...3100

Существует ряд методов определения пористости и структуры порового пространства. Для определения микропор используют метод электронной микроскопии, макропор – метод ртутной порометрии.

В общем виде пористость материала – это отношение объема пор в нем $V_{пор}$ к объему материала в естественном состоянии $V_{ест}$, выраженное в процентах. Объем, который занимают поры в материале, можно выразить как разность между объемом материала $V_{ест}$ и объемом вещества $V_{в}$, тогда пористость Π будет выражена формулой

$$\Pi = \frac{V_{ест} - V_{в}}{V_{ест}} \cdot 100 \% \quad (1.5)$$

Так как

$$V_{ест} = \frac{m}{\rho_c} \quad \text{и} \quad V_{в} = \frac{m}{\rho_{и}},$$

то, подставляя значения $V_{ест}$ и $V_{в}$ формулу (1.5), после преобразования получим *расчетную* формулу для определения пористости материала:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_{и}} \right) \cdot 100 \% \quad (1.6)$$

Пористость рассчитывают, используя данные заданий 1 и 2, а также, используя справочные данные, приведенные в табл. 1.4. и прил. 1.

Коэффициент плотности показывает степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{пл} = \frac{\rho_c}{\rho_{и}}. \quad (1.7)$$

Результаты испытаний

Результаты расчетов сводят в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты вычисления пористости

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Пористость П, %
	средняя ρ_c	истинная $\rho_{и}$	
Кирпич керамический			
Кирпич силикатный			
Гранит			
Древесина (сосна)			
Пенополистирол			
Пеностекло			
Сталь			

Заключение

Сделать анализ результатов, полученных при расчетах.

Задание 1.4. Определение насыпной плотности и пустотности

Сыпучие рыхлые материалы (щебень, гравий, песок, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью ρ_n и межзерновой пустотностью $V_{пуст.}$

Насыпная плотность – отношение массы рыхло насыпанных зернистых и порошкообразных материалов ко всему занимаемому

ими объему, включая поры в зернах и пустоты между ними (межзерновую пустотность). Определяется в стандартных мерных сосудах, выбор объема которых зависит от вида и величины зерен (размера фракции) сыпучего материала (рис. 1.4) и устанавливается требованиями нормативных документов.



Рис. 1.4. Мерные сосуды емкостью 10, 5, 2 и 1 литр для определения насыпной плотности заполнителей

Насыпная плотность сыпучих материалов – величина непостоянная и зависит не только от пористости самих зерен и межзерновой пустотности, но и от степени их уплотнения. В уплотненном состоянии насыпная плотность таких материалов всегда больше, чем в рыхлонасыпном.

Насыпную плотность ρ_n вычисляют как частное от деления массы рыхлонасыпного материала m на объем V_n , занятый материалами в неуплотненном состоянии, по формуле

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}. \quad (1.8)$$

Межзерновая пустотность $V_{\text{пуст}}$ – это объем пустот и открытых пор в объеме сыпучего материала, выраженный в процентах.

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{з}}} \right) \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

где $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность материала, кг/м³;

$\rho_{\text{з}}$ – плотность зерен сыпучего материала, кг/м³.

Плотность зерен – отношение массы пробы сухого сыпучего материала к суммарному объему его зерен, т. е. без объема межзерновых пустот, но с учетом пор, содержащихся в зернах.

Приборы и материалы

1. Стандартная воронка для песка (рис. 1.5).
2. Мерные цилиндрические сосуды вместимостью 1 и 5 л.
3. Весы настольные лабораторные.
4. Шкаф сушильный.
5. Песок кварцевый; щебень гранитный, гравий природный, гравий керамзитовый (фракции 5–10 мм).

Методика испытаний

Насыпную плотность сыпучих материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 5 л. За объем материала принимают вместимость сосуда, т. е. в измеряемый объем входят пустоты между частицами материала.

Для мелкозернистых материалов (с размером зерен не менее 5 мм) используют мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 л. Мерный цилиндр предварительно взвешивают и насыпают в него с помощью стандартной воронки (рис. 1.5) кварцевый песок.

Стандартная воронка представляет собой металлический усеченный конус, который заканчивается задвижкой. Под конус устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд объемом 1 л. В воронку насыпают сухой песок, открывают задвижку, заполняют сосуд с *избытком*, а затем металлической линейкой, держа ее наклонно и прижимая к краям сосуда, срезают излишек материала, имеющего форму конуса.

При этом следует соблюдать условие, чтобы сосуд был неподвижным, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, а следовательно, увеличится его плотность.



Рис. 1.5. Стандартная воронка и мерный цилиндр

Крупнозернистый материал (щебень, гравий) насыпают с избытком в предварительно взвешенный сосуд вместимостью 5 л (для фракции щебня от 5 до 10 мм) с высоты 10 см от края сосуда без последующего уплотнения. Образовавшийся над верхом сосуда излишек снимают стальной линейкой вровень с краями сосуда движением к себе, от себя или влево и вправо. Наполненный сосуд взвешивают с точностью до 1 г.

Насыпную плотность песка или щебня ρ_n , кг/м³, вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (1.10)$$

где m – масса пустого мерного сосуда, кг;

m_1 – масса заполненного мерного сосуда, кг;

V – вместимость мерного сосуда, м³

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию сыпучего материала. За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.6. и вычисляют межзерновую пустотность испытанных материалов. Плотность зерен кварцевого песка соответствует его истинной плотности (из задания 1.1), т. к. в зернах кварца нет пор.

Пример расчета. Вычислить пористость гранита и межзерновую пустотность гранитного щебня. Истинная плотность гранита 2800 кг/м^3 , средняя плотность зерен 2530 кг/м^3 , насыпная плотность гранитного щебня – 1400 кг/м^3 .

По формуле (1.6) пористость гранита

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_z}{\rho_{\text{и}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{2530}{2800}\right) \cdot 100 = 9,6 \text{ \%}.$$

По формуле (1.7) межзерновая пустотность гранитного щебня

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_z}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1400}{2530}\right) \cdot 100 = 44,7 \text{ \%}.$$

Таблица 1.6

Результаты определения насыпной плотности
и межзерновой пустотности

Наименование определений	Песок кварцевый	Щебень гранитный	Гравий природный	Керамзитовый гравий
Масса мерного сосуда m , кг				
Объем мерного сосуда V , м^3				
Масса сосуда с материалами m_1 , кг				
Насыпная плотность $\rho_{\text{н}}$, кг/м^3				
Плотность зерен ρ_z , кг/м^3		2530	2500	660
Межзерновая пустотность $V_{\text{пуст}}$, %				

Заключение

Сравнить между собой различные материалы по насыпной плотности и межзерновой пустотности.

Гидрофизические свойства

Задание 1.5. Определение влажности

Строительные материалы в эксплуатационных условиях или при хранении могут поглощать влагу. При этом их свойства (теплопроводность (λ), средняя плотность (ρ_c), прочность (R), водо- и морозостойкость (F)) существенно изменяются.

Влажность – это содержание влаги в материале в естественно-влажностном состоянии, отнесенное к массе материала в сухом состоянии, выраженное в процентах. Влажность W определяют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \%, \quad (1.11)$$

где m_1 – масса материала в естественно-влажностном состоянии, г;

m_2 – масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Зависимость насыпной плотности песка от его влажности показана на графике (рис. 1.6). Насыпная плотность сухого песка в зависимости от его минералогического состава – 1500...1700 кг/м³. С увеличением влажности до 6...7% насыпная плотность песка уменьшается до 1250...1350 кг/м³. Объясняется это тем, что при увлажнении песок комкуется (зерна слипаются в отдельные агрегаты, комки), образуется рыхлая структура, увеличивается межзерновая пустотность, соответственно увеличивается и объем.

При влажности песка 3...5% его объем увеличивается на 20...30%. Наибольшее разрыхление песка происходит при влажности 6...7%. При дальнейшем увлажнении песка вода попадает в пустоты между зернами, воздух вытесняется, и при неизменном объеме песка его масса увеличивается, а следовательно, увеличивается и насыпная плотность. Изменения насыпной плотности песка с изменением влажности необходимо учитывать при дозировке составляющих бетона по объему.

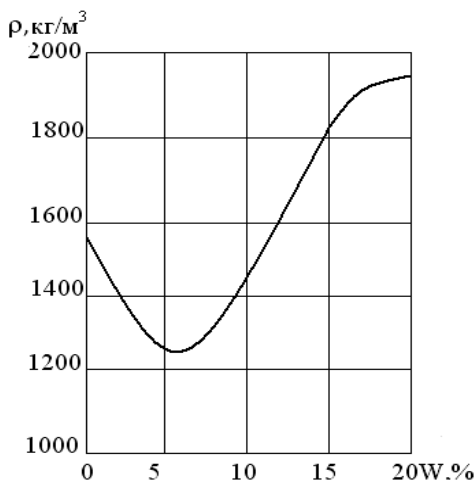


Рис. 1.6. Зависимость насыпной плотности песка от его влажности

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Противень.
4. Песок кварцевый влажный (3 пробы массой 2 кг с влажностью от 5 % до 20 %).

Методика испытаний

В лаборатории предварительно подготавливают три пробы песка с разной влажностью (от 5 до 20 %). Для каждой пробы определяют насыпную плотность песка по методике из задания 3. Затем приступают к определению влажности песка.

Берут навеску влажного песка массой 1000 г, насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы и снова взвешивают.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Определение влажности и насыпной плотности песка

Наименование определений	Проба 1	Проба 2	Проба 3
Масса пустого цилиндра, кг			
Масса цилиндра с песком, кг			
Объем цилиндра, м ³			
Насыпная плотность влажного песка, кг/м ³			
Масса песка до высушивания m_1 , кг			
Масса песка после высушивания m_2 , кг			
Влажность песка, %			

Заключение

Сравнить насыпную плотность песка с разной влажностью.

Задание 1.6. Определение водопоглощения по массе и по объему. Расчет закрытой пористости материала и коэффициента насыщения

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Характеризуется количеством воды, которую поглощает сухой материал при полном погружении и выдерживании в воде заданный промежуток времени, отнесенным к массе сухого материала (водопоглощение по массе V_M) или к объему материала в сухом состоянии (водопоглощение по объему V_V). Водопоглощение по объему и по массе выражают относительным числом или в процентах и вычисляют по формулам:

$$V_M = \frac{m_H - m_C}{m_C} \cdot 100 \% ; \quad (1.12)$$

$$V_V = \frac{m_H - m_C}{\rho_B \cdot V} \cdot 100 \% , \quad (1.13)$$

где m_H – масса образца, насыщенного водой, г;

m_C – масса сухого образца, г;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, г/см³;

V – объем образца в сухом состоянии, см³.

Водопоглощение по массе показывает степень увеличения массы материала (за счет поглощенной воды), а водопоглощение по объему – степень заполнения объема материала водой. Водопоглощение по массе и по объему характеризует собой предельное состояние, когда материал больше не в состоянии поглощать влагу.

Отношение между водопоглощением по объему и по массе численно равно средней плотности материала, т. е. разделив почленно V_V на V_M (выраженное в долях единицы), получаем формулу для перехода от одного вида водопоглощения к другому:

$$V_V = V_M \cdot \rho_c. \quad (1.14)$$

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах. Например, водопоглощение по массе V_M силикатов и шлакоситаллов составляет 0 %, керамогранита не превышает 0,05 %, натурального гранита – 0,02...0,5 %, тяжелого бетона – 3...8 %, керамического кирпича – 8...20 %, а пористых теплоизоляционных материалов может превышать 100 %. Водопоглощение плотных материалов (сталь, стекло, битум) равно нулю.

Водопоглощение по объему V_V является косвенной характеристикой открытой пористости, и поэтому иногда называют кажущейся пористостью. Однако пористость материалов по абсолютному значению всегда выше водопоглощения по объему, т. к. в обычных условиях водой заполняются только открытые (и то не все) поры, а стенки крупных пор только смачиваются водой. Поэтому водопоглощение по объему всегда меньше пористости и меньше 100 %.

Степень заполнения объема пор водой характеризуется коэффициентом насыщения $K_{\text{нас}}$, т. е. отношением водопоглощения по объему V_V к пористости материала Π :

$$K_{\text{нас}} = \frac{V_V}{\Pi}. \quad (1.15)$$

Если учесть, что водопоглощение по объему V_V всегда меньше пористости Π , то всегда $K_{\text{нас}} < 1,0$.

Закрытая пористость определяется как разность между общей пористостью Π и водопоглощением по объему V_V :

$$\Pi_3 = \Pi - V_V. \quad (1.16)$$

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства:

– *увеличиваются* плотность материала, его теплопроводность, линейные размеры и объем;

– *снижаются* прочность, водостойкость, морозостойкость.

По величине коэффициента насыщения $K_{\text{нас}}$ можно косвенно оценить морозостойкость материала. Чем меньше значение коэффициента насыщения, тем выше его морозостойкость. Материалы считаются морозостойкими при $K_{\text{нас}} < 0,8$.

Приборы и материалы

1. Весы настольные лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Сосуд для насыщения образцов водой.
4. Щетка металлическая.
5. Образцы в насыщенном водой состоянии (кирпич керамический, кирпич силикатный, бетон тяжелый, бетон легкий, металлическая пластина, пеностекло и др.).

Методика испытаний

Образцы высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105...110 °С и записывают их массу. После охлаждения образцов до комнатной температуры их погружают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы над ними был слой воды не менее 2 см и не более 10 см, и выдерживают в течение 48 часов. После насыщения водой образцы вынимают из воды, обтирают влажной мягкой тканью и каждый немедленно взвешивают. При этом массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включают в массу образцов в насыщенном водой состоянии.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.8 и рассчитывают значения V_M , V_V по формулам (1.12) и (1.13). Пористость Π определяют по формуле (1.6), значения $\rho_{и}$ и ρ_c берут из заданий 1 и 2 или табл. 1.4. По формулам (1.15) и (1.16) рассчитывают $K_{нас}$ и Π_3 .

Таблица 1.8

Результаты определения водопоглощения и $K_{нас}$

Показатели	Наименование материалов		
Масса сухого образца m_c , г			
Масса насыщенного водой образца m_n , г			
Объем образца V , см ³			
Средняя плотность материала ρ_c , г/см ³			
Водопоглощение по массе V_M , %			
Водопоглощение по объему V_V , %			
Истинная плотность материала, $\rho_{и}$ г/см ³			
Пористость материала Π , %			
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$			
Закрытая пористость Π_3 , %			

Заключение

Сравнить полученные значения для разных материалов и сделать анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какое различие между истинной, средней и насыпной плотностями?
2. Как определить истинную плотность строительного материала?
3. Почему измельчают материалы при определении истинной плотности?
4. Как определить истинную плотность вещества, если оно вступает в химическую реакцию с водой?
5. Как определить пористость материала?
6. На какие свойства и в какой степени влияет пористость?
7. Как определить насыпную плотность сыпучих материалов?
8. Как определить пустотность сыпучих материалов?
9. Как зависит насыпная плотность песка от его влажности?
10. Как определить водопоглощение материала?
11. Как рассчитать закрытую пористость материала?
12. Как рассчитать водопоглощение по объему, зная водопоглощение по массе?
13. Что характеризует коэффициент насыщения?
14. Как косвенно оценить морозостойкость строительных материалов?

Лабораторная работа № 2

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратурой, оборудованием, методикой проведения испытаний по определению механических свойств.
2. Определить основные механические свойства отдельных видов строительных материалов.
3. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Какие свойства относятся к механическим?
3. Как зависят механические свойства от физических свойств (структуры, влажности и т. д.)?

Механические свойства характеризуют поведение материалов при действии различных нагрузок (сжимающей, растягивающей, изгибающей и др.). В результате воздействия внешних нагрузок в материалах конструкций возникают напряжения, противодействующие им, что может привести к деформациям и разрушению конструкций.

Деформации. При приложении внешней нагрузки в материалах возникают внутренние силы упругости. При этом материалы, находящиеся под нагрузкой, как правило, деформируются, т. е. изменяют свои размеры и форму вследствие изменения взаимного расположения его частиц, приводящее к возникновению напряжений.

Длина деформируемого материала (изделия) при приложении нагрузки изменяется (увеличивается или уменьшается) на величину, называемую *абсолютной деформацией*. Однако удобнее характеризовать деформационные свойства не абсолютной, а *относительной деформацией*, равной отношению абсолютной деформации к первоначальному (до деформирования) размеру изделия.

Величину абсолютной α и относительной ε деформаций вычисляют по формулам:

$$\alpha = l_k - l_0; \quad (2.1)$$

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

где l_k и l_0 – соответственно конечный и начальный размеры образца, мм.

Строительные материалы по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя свойства упругости или пластичности. Поэтому различают *упругие* и *пластические деформации*. Если после снятия нагрузки образец восстанавливает свои первоначальные размеры и форму, то деформацию называют *упругой*. Если же он частично или полностью сохраняет измененные размеры или форму, то такую деформацию называют *пластической*.

Упругость – свойство материала деформироваться и восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки.

Пластичность – свойство материала изменять свою форму под нагрузкой без нарушения сплошности структуры (появления трещин) и частично сохранять ее после снятия нагрузки.

Упругость материала количественно характеризуется *модулем упругости* E (модулем Юнга), который определяется как отношение нормального напряжения σ к его относительной деформации ε :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (2.3)$$

Модуль упругости характеризует меру жесткости материала. Чем больше величина этой характеристики материала, тем меньше деформация при прочих равных условиях. Такие конструкционные материалы как сталь, железобетон отличаются высокими значениями модуля упругости (табл. 2.1).

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению и деформациям под действием напряжений, возникающих от внешних нагрузок. Количественно оценивается пределом прочности. **Предел прочности** (временное сопротивление) – это напряжение,

соответствующее наибольшей (разрушающей) нагрузке в момент разрушения материала к единице площади. **Напряжение** – это равнодействующая внутренних сил, приходящаяся на 1 см^2 поперечного сечения материала.

Предел прочности определяют нагружением до разрушения испытываемых образцов материала с помощью гидравлических прессов или разрывных машин (рис. 2.1). Испытание проводят на образцах (кубах, цилиндрах, призмах, балочках), форма и размеры которых указаны в стандартах на соответствующий материал.



Рис. 2.1. Пресс для испытания строительных материалов

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ или растяжении R_p вычисляют делением максимальной нагрузки при разрушении образца F на площадь первоначального поперечного сечения A :

$$R_{сж} (R_p) = \frac{F}{A}. \quad (2.4)$$

Предел прочности в Международной системе единиц (СИ) измеряется в МПа ($1 \text{ МПа} = 1 \text{ Н/мм}^2$). В некоторых нормативных документах сохраняется размерность показателя предела прочности в технической системе единиц (кгс/см^2): $1 \text{ МПа} \approx 10 \text{ кгс/см}^2$.

Предел прочности при сжатии строительных материалов колеблется в довольно широких пределах от 0,5 МПа (некоторые виды теплоизоляционных материалов), до 1000 МПа и выше (высокопрочные стали). Например, у кирпича от 7,5 до 30 МПа, у бетона – от 8 до 115 МПа и более (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Прочность и модуль упругости строительных материалов

Материал	Прочность, МПа			Модуль упругости, МПа
	сжатие	изгиб	растяжение	
Сталь	210...600	–	380...900	$2 \cdot 10^5$
Гранит	150...250	–	3...5	$0,49 \cdot 10^5$
Бетон тяжелый	10...120	2...8	1...4	$(0,146...0,232) \cdot 10^5$
Кирпич	7,5...30	1,8...4,4	–	–
Сосна	40...48	70...85	90...110	$(0,135...0,15) \cdot 10^5$
Дуб	52...57	93...107	100...115	
Стекло	500...2000	35...100		$(0,48...1,2) \cdot 10^5$
Стеклопластик	90...150	130...250	60...120	$0,55 \cdot 10^5$
Каучук	–	–	8	$0,00008 \cdot 10^5$

Предел прочности при изгибе $R_{\text{изг}}$ определяют на образцах призмах (балочках), расположенных на двух опорах. Сила прикладывается, как правило, в середине образца (рис. 2.2).

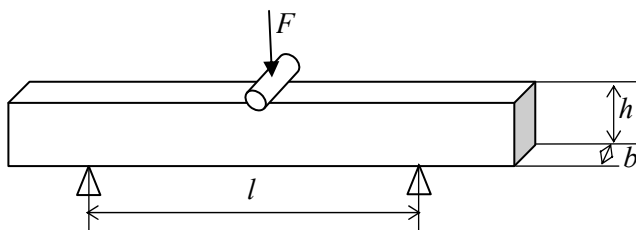


Рис. 2.2. Схема испытания на изгиб

Рассчитывается предел прочности при изгибе по приведенной схеме по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \quad (2.5)$$

где F – сила, при которой разрушился образец, Н;

l – расстояние между опорами, мм;

b – ширина образца, мм;

h – высота, мм.

По прочности строительные материалы обычно подразделяют на марки, классы или сорта. Методы испытания для определения прочности путем разрушения испытываемых образцов называются разрушающими. Однако традиционные методы определения прочности с изготовлением стандартных образцов не всегда соответствуют реальной прочности материала в конструкциях. Более достоверными результаты могли быть при испытании выбуренных кернов из конструкции. Однако это приведет к ослаблению конструкций.

В строительной практике применяются и *неразрушающие* способы контроля прочности. Количественная оценка свойств материала такими способами производится по косвенным показателям – скорости распространения ультразвукового импульса (*ультразвуковой способ*), по частоте собственных колебаний (*резонансный*), величине пластической деформации (*механические*) и др.

Коэффициент конструктивного качества (удельная прочность) $K_{\text{КК}}$ оценивается по отношению предела прочности при сжатии материала к его средней плотности. Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность. Физически коэффициент конструктивного качества выражает собой максимальную высоту столба из данного материала, когда в основании под действием собственной массы возникают разрушающие напряжения.

Твердость – это способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в поверхностный слой другого более твердого материала, не получающего остаточной деформации. Существует ряд методов определения твердости в зависимости от вида и назначения материала. Твердость природных каменных материалов оценивают по шкале

сравнительной твердости Мооса (по имени немецкого минеролога F. Mohs) (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Шкала твердости минералов (Мооса)

Показатель твердости по шкале Мооса	Наименование минерала	Твердость по ПМТ-3, МПа	Характерные признаки твердости
1	Тальк, мел	24	Грифель карандаша оставляет черту, легко чертится ногтем
2	Гипс, каменная соль	360	Ноготь человека оставляет черту
3	Кальцит, ангидрит	1090	Стальной нож, медно-латунная монета оставляют черту
4	Флюорит (плавиковый шпат)	1890	Никелевая монета оставляет черту
5	Апатит	5360	Оконное стекло, стальной нож при сильном нажатии оставляют черту
6	Ортоклаз (полевой шпат)	7950	Оконное стекло слегка царапает, стальной нож черты не оставляет
7	Кварц	11 200	Напильник, стальная игла оставляют черту, легко чертит стекло
8	Топаз	14 270	Обыкновенный стеклорез оставляет черту
9	Корунд	20 600	Алмазный стеклорез оставляет черту
10	Алмаз	106 000	–

Шкала Мооса предназначена для грубой сравнительной оценки твердости материалов. Она состоит из 10 минералов, принятых за эталон и расположенных по степени возрастания их твердости, из которых первый – тальк (самый мягкий) и десятый – алмаз (самый твердый). Показатель твердости испытываемого материала находится между показателем твердости двух соседних минералов. Испытываемый материал либо царапает эталон и его твердость выше

по шкале Мооса, либо царапается эталоном и его твердость ниже эталона.

Твердость металлов, пластмасс, древесины, бетона определяют вдавливанием в образцы с установленным усилием индентора – стального шарика либо твердого наконечника правильной геометрической формы (конуса или пирамиды) в течение определенного времени (количественный метод). По величине образующегося отпечатка рассчитывают показатель твердости. В зависимости от типа и формы индентора различают показатель твердости по Бринеллю (символ HB), по Роквеллу (HR), по Виккерсу (HV), по Кнуппу (HN) и др. (рис. 2.3).

Сущность **метода Бринелля** (ГОСТ 9012) заключается в том, что в поверхность испытываемого образца (изделия) статическим усилием F вдавливают стальной закаленный шарик диаметром D (2,5; 5 или 10 мм). Усилие прикладывают перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени, и после снятия усилия измеряют диаметр отпечатка d , оставленного шариком. По размеру полученного отпечатка судят о твердости металла HB .

Сущность **метода Роквелла** (ГОСТ 9013) – определение твердости по вдавливанию в металл алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм. Используют прибор ТК или ТР 5006, аналогичный прибору ТШ, для определения твердости по Бринеллю.

Шарик или алмаз вдавливают в образец под действием двух последовательно прилагаемых усилий: вначале предварительное $F_0 = 100$ Н и затем общее F , которое равно сумме предварительного и основного F_1 (600, 1000 или 1500 Н). Вдавливание шарика или конуса продолжается 5...6 с. Глубина вдавливания h определяется с помощью индикатора, установленного на приборе. Индикатор имеет 3 шкалы – A , B , C , которые соответствуют различным условиям испытаний. Шкалы A и C служат для испытания алмазным конусом при основном усилии F_1 соответственно 600 и 1500 Н, шкала B – для испытания стальным шариком при нагрузке 1000 Н. Соответственно обозначают и число твердости: при испытании алмазным конусом твердость обозначают HRA или HRC ; при испытании стальным шариком – HRB .

Сущность **метода Виккерса** (ГОСТ 2999) состоит в том, что с помощью твердомера марки ТП в образец металла вдавливаются

алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° . Усилие вдавливания может быть от 149 до 1980 Н продолжительностью действия 10...25 с. Затем измеряют диагональ полученного отпечатка и определяют твердость.

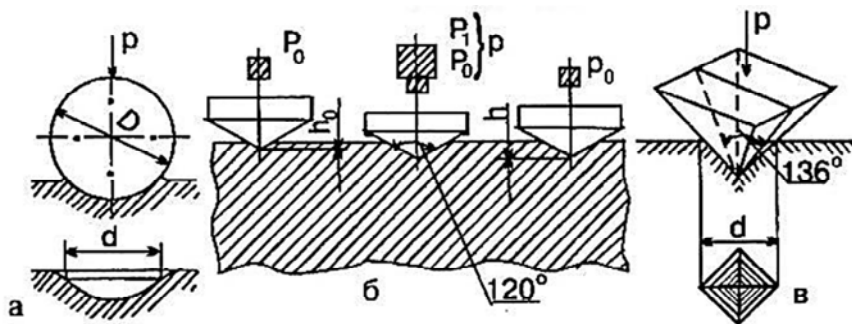


Рис. 2.3. Методы определения твердости:
 а – по Бринеллю (HB); б – по Роквеллу (HR);
 в – по Виккерсу (HV)

Однако результаты испытаний одних и тех же материалов, проведенных различными методами, могут и не совпадать.

Истираемость – способность материала сопротивляться истирающим воздействиям, которые вызывают постепенный отрыв и удаление с поверхности материала мелких частиц. Значимость этого показателя связана с трением о поверхность материала подошв обуви, транспортных средств и т. п. Сопротивление материала истиранию определяют на специальных приборах (кругах истирания – рис. 2.4) путем воздействия на образец абразивами (кварцевым песком, наждаком, наждачной шкуркой).

Оценивается истираемость I по величине потери массы образца, отнесенной к площади истирания, и выражается в $г/см^2$:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{A}, \quad (2.6)$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания, г;
 A – площадь истирания, $см^2$.

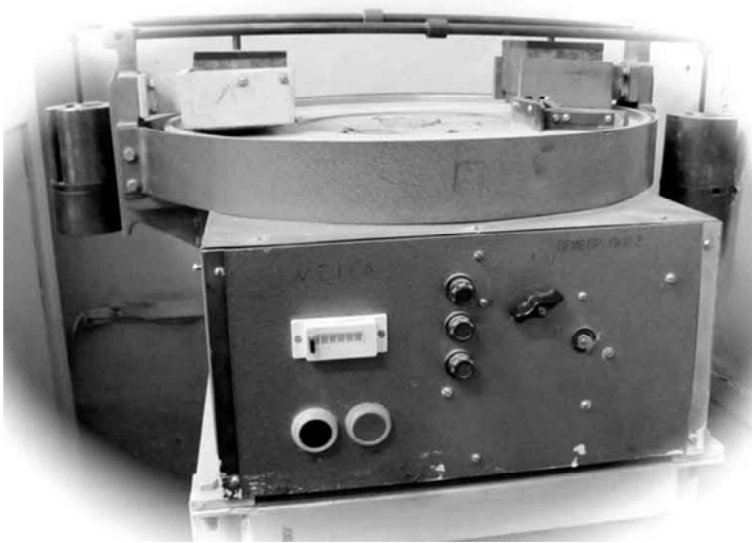


Рис. 2.4. Круг истирания

Степень истираемости зависит от прочности и твердости материала. Чем больше твердость материала, тем меньше его истираемость. Например, для гранита показатель истираемости равен $0,03 \dots 0,07 \text{ г/см}^2$, а для известняка и мрамора в $10 \dots 15$ раз больше.

Истираемость является важной характеристикой для оценки эксплуатационных свойств материалов напольных и дорожных покрытий, лестниц, ступеней и др.

Задание 2.1. Определение абсолютной и относительной деформации

Приборы и материалы

1. Штангенциркуль.
2. Разрывная испытательная машина марки Р-10.
3. Индикаторный деформометр.
4. Образцы низкоуглеродистой арматурной стали диаметром 10 мм и длиной 200 мм.

Методика испытаний

На образцы с помощью кернов наносят риски. Разметку делают на длине несколько больше расчетной, равной 100 мм.

На образце закрепляют индикаторный деформометр на базе измерения 100 мм. Образец устанавливают в испытательную машину и закрепляют в зажимах. Дают предварительное усилие, равное по шкале силоизмерителя 1000 Н, снимают отсчет по шкале индикатора и затем усилие увеличивают этапами, равными приблизительно 0,1 от предполагаемого разрушающего. Отсчеты снимают на каждом этапе до усилия, соответствующего пределу текучести испытываемой стали. Физический предел текучести σ_T фиксируется по интенсивному увеличению деформаций образца при практически невозрастающем усилии. Затем усилие увеличивают до разрыва образца.

Физический предел текучести σ_T вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_T = \frac{F}{S_0}, \quad (2.7)$$

где F – осевая растягивающая нагрузка в Н, соответствующая началу интенсивного деформирования образца;

S_0 – площадь поперечного сечения образца до его испытания, мм².

Временное сопротивление разрыву (предел прочности) вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{S_0}, \quad (2.8)$$

где F_{\max} – максимальная нагрузка на образец, Н.

Диаграмма растяжения стальной арматуры приведена на рис. 2.5.

После испытания обе части образца тщательно складывают вместе, располагая их по прямой линии (рис. 2.6). От места разрыва в одну сторону откладывают $n/2$ интервалов и ставят точку «а». Участок от места разрыва до первой метки при этом считается как целый интервал. Затем от отметки «а» откладывают в сторону места

разрыва n интервалов и ставят точку «b». Отрезок «ab» и будет конечной расчетной длиной l_1 , полученной после разрыва образца.

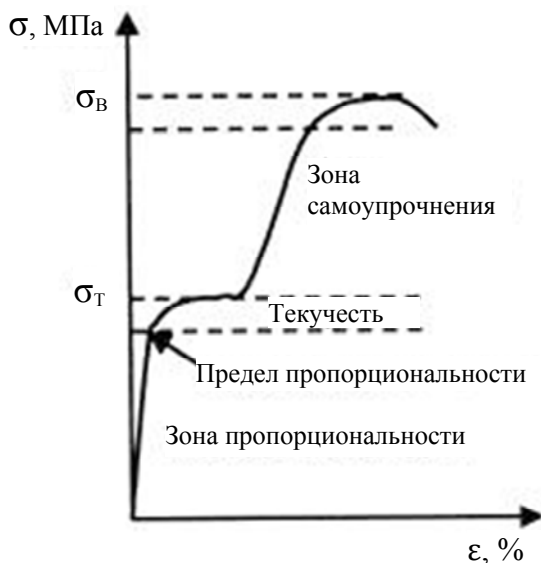


Рис. 2.5. Диаграмма растяжения стальной арматуры

Величину относительного удлинения после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 % по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100 \%, \quad (2.9)$$

где l_1 и l_0 – конечная и начальная (расчетная) длина образца, мм.

Величину относительного сужения после разрыва арматурной стали вычисляют с округлением до 1 % по формуле:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \%, \quad (2.10)$$

где S_1 – конечная площадь образца в месте разрыва, мм².

Для определения S_1 после испытания образца на разрыв измеряют минимальный диаметр d_1 в двух взаимно перпендикулярных направлениях и принимают среднее арифметическое из двух значений.

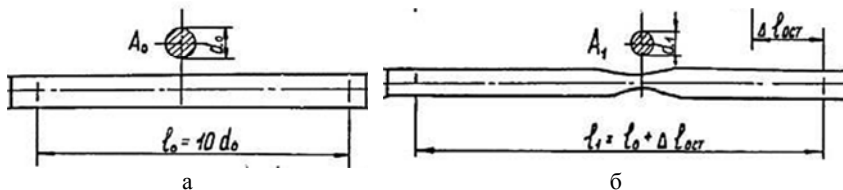


Рис. 2.6. Общий вид образцов:
а – до испытания; б – после испытания

Результаты испытаний

Опытные данные и результаты вычислений заносят в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерений арматурной стали

Показатели	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Диаметр образца начальный d_0 , мм				
Диаметр образца после испытания d_1 , мм				
Площадь поперечного сечения образца начальная S_0 , мм ²				
Площадь поперечного сечения образца после испытания S_1 , мм ²				
Расчетная длина образца начальная l_0 , мм				
Расчетная длина образца конечная l_1 , мм				
Абсолютное удлинение после разрыва α , мм				
Относительное удлинение после разрыва ε , %				
Относительное сужение после разрыва ψ_t , %				

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний.

Задание 2.2. Определение твердости металлов по методу Бринелля

Твердость – свойство поверхностного слоя металла сопротивляться деформации (или разрушению) при местном контактом воздействии на него другого, более твердого тела (индентора) определенной формы и размеров. По этой характеристике оценивают качество металла в деталях и изделиях.

Сущность метода заключается в том, что в поверхность испытуемого образца (изделия) статическим усилием вдавливают стальной закаленный шарик диаметром D . Усилие прикладывают перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени, и после снятия усилия измеряют диаметр отпечатка d . По размеру полученного отпечатка судят о твердости металла HB . Схема испытания приведена на рис. 2.7.

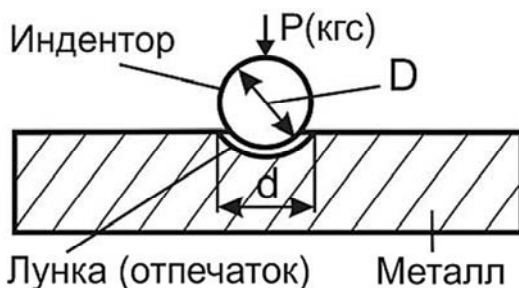


Рис. 2.7. Схема определения твердости металлов по Бринеллю

Приборы и материалы

1. Прибор типа ТШ (рис. 2.8).
2. Стальные шарики (инденторы) с номинальными диаметрами (D) 2,5; 5 и 10 мм.
3. Образцовые меры твердости.
4. Микрометр.
5. Образцы металла (чугун, мало- и высокоуглеродистые стали, сплавы бронзы, дюралюминий) со шлифованной поверхностью.

Методика испытаний

Поверхность образца должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидов пленки. Образец во время испытаний не должен прогибаться и смещаться. Диаметры стальных шариков, которые вдавливают в испытываемый образец, устанавливают в зависимости от прилагаемого усилия. При диаметре 2,5 мм усилие на стальной шарик составляет 612,9 и 1839 Н (62,5 и 187,5 кгс); при диаметре 5 мм – 2450 и 7355 Н (250 и 750 кгс); при диаметре 10 мм – 9800 и 29430 Н (1000 и 3000 кгс).

Испытания проводят с применением усилий, зависящих от диаметра шарика D (табл. 3 ГОСТ 9012).

Толщина образца (мм) выбирается такой, чтобы на его противоположной стороне после испытания не было следов деформации.

Подготовленный образец закрепляют на столике, плотно прижимая к шариковому наконечнику. Включают прибор и плавно увеличивают усилие до максимальной величины. Время от начала приложения усилия до достижения заданной его величины должно быть от 2 до 8 с.

Продолжительность выдержки τ под усилием указывается в технических нормативных документах на металлические изделия (для черных металлов – от 10 до 15 с, а для цветных металлов и сплавов – от 10 до 180 с в зависимости от материала и его твердости).



Рис. 2.8. Прибор типа ТШ

Диаметр отпечатка d , который получается на образце после снятия усилия, измеряют отсчетным микроскопом с ценой деления 0,05 мм и с полем зрения не менее 6,5 мм. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее $4d$, а расстояние от центра отпечатка до края образца не менее $2,5d$. Для металлов с твердостью менее 3,5 HB эти расстояния должны быть соответственно $6d$ и $3d$.

Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За окончательный результат берут среднее арифметическое. Значение измеренного диаметра отпечатка должно находиться в пределах

$$0,2D < d < 0,6D.$$

Если это условие не выполняется, то испытание считается недействительным и его повторяют снова.

Твердость по Бринеллю выражают числом твердости HB , которое вычисляют по формулам:

$$HB = \frac{0,100F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (2.11)$$

где F – усилие в Н;

A – площадь отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (2.12)$$

где F – усилие в кгс;

A – площадь отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

На практике чаще всего пользуются расчетными таблицами, приведенными в Приложении 3 ГОСТ 9012, где по диаметру отпечатка d , диаметру шарика D и величине усилия F находят число твердости HB .

Твердость по Бринеллю при определении стальным шариком диаметром $D = 10$ мм при усилнии $F = 3000$ кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки τ от 10 до 15 с обозначается только цифрами, характеризующими величину твердости и буквами HB , например, $HB 185$.

При других условиях испытания после букв HB указываются условия испытания в следующем порядке: диаметр шарика D (мм), усилие F (кгс) и продолжительность выдержки под усилием τ (с). Например, $250HB 5/750/20$, где число 250 – твердость по Бринеллю, определенная с применением шарика $D = 5$ мм, при усилнии $F = 750$ кгс и продолжительности выдержки под усилием в течение $\tau = 20$ с.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Показатели	Образец		
	1	2	3
Толщина образца, мм			
Диаметр шарика D (индентора), мм			
Диаметр отпечатка d , мм			
Величина усилия F , Н			
Величина усилия F , кгс			
Значение твердости HB			

Заключение

Привести обозначение твердости по Бринеллю.

Задание 2.3. Определение твердости горных пород

Твердость для природных каменных материалов имеет важное значение при их механической обработке (распиливание, шлифование, полирование и т. п.). Твердость в значительной степени зависит от структуры и свойств породообразующих минералов.

Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости (шкале Мооса) (табл. 2.2). По шкале Мооса определяют условную твердость горных пород.

Приборы и материалы

1. Набор минералов по шкале Мооса.
2. Образцы горных пород (кубики с ребром 50...200 мм; цилиндры диаметром и высотой 50...150 мм; пластины 100×100×30 мм).
3. Прибор ПМТ-3.

Методика испытаний

Для определения твердости берут образец горной породы и на его поверхности последовательно, начиная с первого минерала шкалы Мооса, проводят черту. Показателем твердости считают число, среднее между двумя номерами минералов, из которых один оставляет, а другой не оставляет царапины на горной породе. Например, если горная порода царапается кварцем (соответствует показателю твердости 7), а сама царапает ортоклаз (номер 6), то твердость изучаемой породы будет 6,5.

Для более точного определения твердости горных пород используют прибор ПМТ-3, которым определяют твердость путем вдавливания в образец алмазной пирамиды.

Результаты испытаний

Результаты испытания на твердость горных пород заносят в табл. 2.5.

Результаты испытаний на твердость

Горная порода	№ минерала, царапающего образец	№ минерала, оставляющего черту на образце	Твердость	
			по шкале Мооса	по прибору ПМТ-3, МПа
Кварцит				
Гранит				
Мрамор				

Заключение

Проанализировать результаты испытаний на твердость в зависимости от предела прочности при сжатии.

Задание 2.4. Определение предела прочности при сжатии и расчет коэффициента конструктивного качества $K_{кк}$

Приборы и материалы

1. Образцы (кубы из бетона, строительного раствора, призмы деревянные и др.).
2. Линейка измерительная.
3. Штангенциркуль.
4. Пресс гидравлический.

Методика испытаний

Образцы-кубы из бетона с ребром 100 мм (строительного раствора с ребром 7,07 см) очищают мягкой щеткой или тканью и определяют геометрические размеры поверхностей, соприкасающихся с плитами прессы. Усилие на образцы передается в направлении, перпендикулярном формованию при изготовлении образцов.

Образцы из древесины размерами 20×20×30 мм испытывают вдоль волокон древесины. Замеряют поперечные размеры образцов с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм.

На рабочей панели пресса выбирают нужную форму вида испытания, в которой задаются необходимые параметры (размеры образца, скорость роста давления (0,1...1 МПа/с) и другие).

Испытываемый образец выравнивают по центру нижней плиты пресса, ориентируясь по круговым насечкам, таким образом, чтобы отклонение образца от центра не превышало 3 мм. Затем нажимают кнопку «ПУСК» на рабочей панели. По окончании испытания извлекают обломки образца.

Каждый материал испытывают на трех образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение прочности трех образцов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Результаты испытаний на сжатие

Наименование материалов	Размеры поперечного сечения, мм $a \times b$	Площадь поперечного сечения A , мм ²	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа
Бетон			
Строительный раствор			
Древесина			

Коэффициент конструктивного качества $K_{кк}$ характеризует эффективность прочностных свойств материалов. Его значение тем больше, чем больше прочность при сжатии и меньше плотность материала. В табл. 2.7 привести сравнительный анализ прочности при сжатии и плотности некоторых строительных материалов, а также определить «высоту столба» h из материала, когда напряжение в нижних слоях от давления вышележащего материала достигнет критических значений.

Таблица 2.7

Определение коэффициента конструктивного качества

Наименование материала	$R_{сж}$, МПа	ρ_0 , кг/м ³	$K_{кк}$	$R_{сж}$, кгс/см ²	ρ_0^* , кг/см ³	h^* , см
Бетон тяжелый						
Бетон легкий						
Древесина сосны						
Кирпич керамический						
Кирпич керамический поризованный						
Кирпич силикатный						
Сталь						

Заключение

Если плотность материала ρ_0^* выразить в килограммах на сантиметр кубический (кг/см³), то, определяя значение $K_{кк}$, можно вычислить высоту столба из материала, при которой нижние слои будут разрушаться от давления верхних слоев этого материала.

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 2.5. Определение предела прочности при статическом изгибе

Приборы и материалы

1. Испытательная машина (например, пресс гидравлический) со шкалой усилий до 100 кН (10 т).
2. Штангенциркуль.
3. Образцы-балочки древесины в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм.
4. Приспособление, обеспечивающее изгиб образца приложением нагрузки к его боковой поверхности в середине расстояния между центрами опор.

Методика испытаний

Испытания в соответствии с ГОСТ 16483.3 проводятся на образцах-балочках размером 20×20×300 мм.

Перед испытанием измеряют ширину и высоту балочки на середине длины и отмечают карандашом места установки опор и приложения нагрузки в соответствии с одной из схем испытаний (рис. 2.9).

Образец устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса так, чтобы изгибающее усилие было направлено в тангентальном направлении по касательным к годичным слоям. Испытание продолжают до разрушения образца.

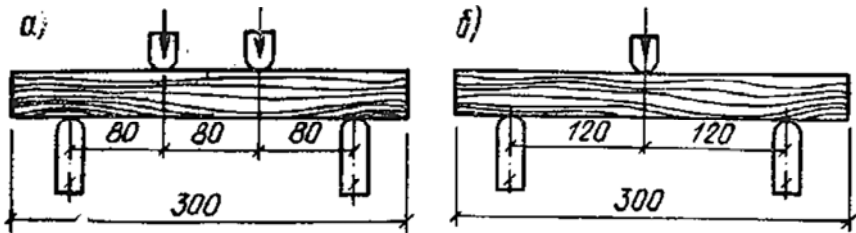


Рис. 2.9. Схема испытания на изгиб образцов-балочек:
a – при двух сосредоточенных нагрузках;
б – при одной сосредоточенной нагрузке

Предел прочности при статическом изгибе $R_{\text{изг}}$ в МПа вычисляют по формулам:

– **схема *a***

$$R_{\text{изг}} = \frac{F_{\text{max}} \times l}{b \times h^2}; \quad (2.13)$$

– **схема *б***

$$R_{\text{изг}} = \frac{3F_{\text{max}} \times l}{2b \times h^2}, \quad (2.14)$$

где F_{max} – разрушающее усилие, Н;

l – расстояние между центрами опор, мм;

b – ширина образца, мм;

h – высота образца, мм.

Полученный результат округляют до 1 МПа.

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Результаты определения прочности при статическом изгибе

Показатели	Значения
Ширина образца b , мм	
Высота образца h , мм	
Расстояние между центрами опор ℓ , мм	
Разрушающее усилие F_{\max} , Н	
Предел прочности при изгибе $R_{\text{изг}}$, МПа	

Заключение

Сравнить полученные результаты со справочными данными (прил. 1).

Задание 2.6. Определение ударной прочности (сопротивления удару)

Ударная прочность определяется для материалов, которые в процессе эксплуатации в конструкциях подвергаются динамическим нагрузкам (полы промышленных зданий, дорожные покрытия). Испытания проводятся на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 20...30 мм и осуществляют на специальном копке Педжа (рис. 2.10).

Прибор состоит из массивной металлической опоры, переходящей внизу в наковальню 1 массой 50 кг. На опоре вертикально закреплены две направляющие цилиндрические штанги 2, по которым движется, свободно перемещаясь, стальной груз «баба» 3 массой 2 кг. По образцу 5, установленному в центре наковальни, производят удар «бабой» через подбабок 4, который имеет внизу сферическую поверхность диаметром 10 мм. Удары по образцу проводят вначале с высоты 1 см, затем 2 см и далее через 1 см до разрушения образца. Показателем сопротивлению удару служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению, т. е. до появления первой трещины.

Ударная прочность $R_{уд}$ (Дж/см³) оценивается по величине удельной работы груза W (Дж), затраченной на разрушение единицы объема V (см³) материала. Вычисление проводят по формуле

$$R_{уд} = \frac{W}{V} = \frac{\left[(1 + 2 + \dots + (n - 1)) \cdot 10^{-2} \right] \cdot m \cdot g}{V}, \quad (2.15)$$

где n – порядковый номер удара, разрушивший образец, т. е. высота падения груза (в см) после которого появилась первая трещина;

$(1 + 2 + \dots + (n - 1))$ – суммарная высота падения груза, см;

m – масса стального груза, кг;

g – ускорение свободного падения груза (9,81 м/с²);

V – объем образца, см³.

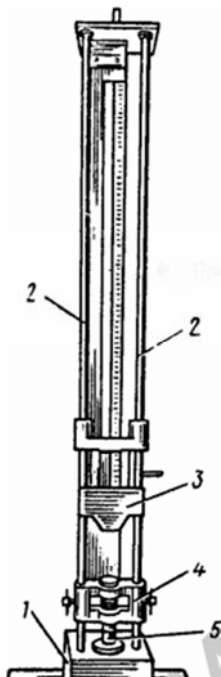


Рис. 2.10. Копер Педжа для испытания цилиндрических образцов на удар:

1 – стальная наковальня; 2 – направляющие цилиндрические штанги;

3 – стальной груз (баба); 4 – подбабок; 5 – образец

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение трех определений.

Приборы и материалы

1. Копер Педжа.
2. Штангенциркуль.
3. Образцы-цилиндры диаметром и высотой 20...30 мм, изготовленные из гипсового теста нормальной густоты.

Методика испытаний

Замеряют диаметр и высоту образцов-цилиндров. Затем образец-цилиндр устанавливают в центре наковальни, прижимают подбабком и проводят удар грузом «бабой» с высоты 1 см (0,01 м), затем с высоты 2 см (0,02 м) и так далее, увеличивая высоту на 1 см до тех пор, пока образец не разрушится.

Ударную прочность вычисляют по формуле (15).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Результаты испытаний на ударную прочность

Наименование материала	Размеры образца, см		Объем образца V , см ³	Номер удара, разрушившего образец n	Ударная прочность $R_{уд}$, Дж/см ³
	диаметр	высота			

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 2.7. Определение истираемости

Истираемость – способность материала сопротивляться действию истирающих сил. Под действием этих сил происходит уменьшение материала в объеме и по массе. Материалы, подвергшиеся этому испытанию, применяют для устройства полов, лестничных ступеней, тротуаров, дорожных покрытий и др. К ним относятся бетоны, природные каменные материалы, материалы для полов на основе полимеров, керамическая плитка.

Образцы для испытания на истираемость должны иметь правильную геометрическую форму (кубы с ребром 5...7 см).

Приборы и материалы

1. Лабораторный круг истирания (машина ЛКИ).
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Образцы-кубы с ребром 7 см (бетон, гранит и др.).

Методика испытаний

Перед испытанием на истираемость образцы высушивают в сушильном шкафу, определяют массу m , измеряют площадь поверхности образца A , которая будет подвергаться испытанию.

Испытание на истираемость проводят на специальном оборудовании – круге истирания (рис. 2.4) в виде чугунного диска, который вращается на вертикальной оси от электродвигателя со скоростью 22 об/мин. Количество оборотов фиксируется счетчиком. С помощью грузов и специального приспособления два образца прижимаются к поверхности диска с усилием 60 кПа на площадь образца. Над диском на станине укреплены два бачка для автоматической подачи шлифовального абразивного порошка (наждак или корунд крупностью около 0,5 мм или стандартный песок). Расход шлифовального порошка должен быть 20 г на 28 оборотов диска.

После 150 м пути истирания, проделанного по диску, т. е. после одного цикла испытания, машина автоматически отключается, образцы вынимают из обоймы, очищают от пыли, взвешивают, а за-

тем снова вставляют в захваты, повернув на 90° в горизонтальной плоскости, и продолжают испытывать.

В конце испытания (после 4-х циклов) образцы вынимают, обтирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость в г/см^2 вычисляют с погрешностью до $0,1 \text{ г/см}^2$ по формуле (2.6).

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из определений, полученных на двух образцах.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 2.10

Таблица 2.10

Результаты испытаний на истираемость

Определения	Образцы		Среднее
	1	2	
Масса образца до испытания, m , г			
Масса образца после испытания m_1 , г			
Площадь истирания A , см^2			
Истираемость, г/см^2			

Заключение

Сравнить величину истираемости испытанного материала с показателями, приведенными в технических нормативных правовых актах или с показателем для других материалов.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Как вы понимаете свойства материалов: деформативность, упругость, пластичность, прочность?
2. Приведите примеры упругих и пластичных строительных материалов.
3. Что такое твердость?
4. Как определяют твердость металлов?
5. Как определяют твердость по шкале Мооса?
6. Что такое прочность материала и чем она характеризуется?
7. Приведите формулы определения прочности строительных материалов.
8. На каких образцах и как определить предел прочности при сжатии, при растяжении, при изгибе?
9. Что характеризует коэффициент конструктивного качества? Приведите примеры материалов с высоким коэффициентом конструктивного качества.
10. На каких образцах и как определить ударную прочность?
11. Как определить истираемость материалов?
12. Для каких материалов определяют истираемость?

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительное материаловедение : лабораторные работы (практикум) / Я. Н. Ковалёв [и др.]. – Минск: БНТУ, 2007. – 534 с.
2. Попов, К. Н. Оценка качества строительных материалов / К. Н. Попов, М. Б. Каддо, О. В. Кульков. – Издательство Ассоциации строительных вузов. – М., 1999. – 236 с.
3. Дворкин, Л. И. Справочник по строительному материаловедению / Л. И. Дворкин. – Москва: Инфра-Инженерия, 2010. – 472 с.
4. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. Введ. 01.01.2003. – Минск: Минстройархитектуры, 2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Плотность и прочность некоторых строительных материалов

№ п/п	Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Предел прочности	
		средняя, ρ_c	истинная, $\rho_{и}$	при сжатии $R_{сж}$, МПа	при изгибе $R_{изг}$, МПа
1	Базальт	2200...3000	2300...3000	200...300	–
2	Бетон тяжелый	2400...2500	2600...2900	10...100	5,5...10
3	Бетон легкий	800...1800	2600...2700	8...60	–
4	Бетон ячеистый (газосиликат)	500	2500...2600	0,35...12,5	–
5	Гипс и гипсовые изделия	700...1300	2700	2...25	1,2...8
6	Гравий природный $\rho_{нас} = 1500...1700$ кг/м ³	2500...2600	2600...2700	–	–
7	Гранит	2700...2900	2800...3000	120...300	–
8	Древесина (сосна)	400...500	1530	50	85
9	Древесноволокнистая плита (ДВП)	200	1500	–	–
10	Известняки тяжелые	1600...2100	2600	20...50	–
11	Известняки-ракушечники	1100...1600	2700	15...30	–
12	Керамзитовый гравий $\rho_{нас} = 200...800$ кг/м ³	450...950	2600	–	–
13	Кирпич керамический полнотелый	1600...1900	2600...2840	7,5...30	1,0...4,5
14	Кирпич керамический сверхэффективный пористо-пустотелый	900...1200	2600...2840	7,5...30	0,6...3,0
15	Кирпич силикатный	1800...2000	2600...2750	7,5...30	1,0...4,5
16	Пенополистирол	10...50	1050	–	–
17	Пеностекло (ячеистое стекло)	150...300	2550	–	–
18	Песок кварцевый $\rho_{нас} = 1500...1700$ кг/м ³	2500...2600	2500...2600	–	–
19	Стекло оконное листовое	2550	2550	–	–
20	Тuff вулканический	800...2000	2400...2600	15...80	–
21	Цемент $\rho_{нас} = 1100...1200$ кг/м ³	3000...3100	3000...3100	30...60	4,5...6,5
22	Сталь	7850	7850	$R_{раст} \approx 400...750$ МПа	
23	Алюминий	2600	2600	$R_{раст} \approx 90...120$ МПа	

Учебное издание

БОРТНИЦКАЯ Майя Геннадьевна
ГУРИНЕНКО Наталья Сергеевна
ЧИСТОВА Татьяна Анатольевна

**СТРОИТЕЛЬНОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

В 2 частях

Часть 1

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Редактор *Е. В. Герасименко*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 14.04.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,20. Уч.-изд. л. 2,50. Тираж 200. Заказ 256.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.