

Т. В. Ларина

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Новосибирск
СГУГиТ
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

Т. В. Ларина

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия для студентов 2-го курса,
обучающихся по направлению подготовки специалистов
21.05.04 «Горное дело»

Новосибирск
СГУГиТ
2017

УДК 620.2
Л251

Рецензенты: инженер-технолог, руководитель группы АО «Швабе – Оборона и Защита» *С. А. Черкасов*
доктор технических наук, профессор СГУГиТ *В. С. Айрапетян*

Ларина, Т. В.

Л251 Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Строительные материалы [Текст] : учеб.-метод. пособие / Т. В. Ларина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 78 с.
ISBN 978-5-87693-990-6

Учебно-методическое пособие подготовлено старшим преподавателем кафедры метрологии и технологии оптического производства СГУГиТ Т. В. Лариной.

Представлены четыре темы теоретического раздела по изучению свойств строительных материалов, четыре самостоятельных работы и одна контрольная работа по дисциплине. Изложены общие требования к выполнению самостоятельных и контрольных работ.

Пособие предназначено для студентов 2-го курса, обучающихся по направлению подготовки специалистов 21.05.04 «Горное дело», при изучении дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», а также может быть использовано студентами, обучающимися по направлению подготовки бакалавров 27.03.05 «Инноватика», при изучении дисциплины «Химия и материаловедение».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 620.2

ISBN 978-5-87693-990-6

© СГУГиТ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Обозначения переменных	6
1. Изучение свойств строительных материалов	7
Тема № 1. Общефизические свойства строительных материалов	7
Тема № 2. Гидрофизические и теплофизические свойства строительных материалов.....	14
Тема № 3. Механические и химические свойства строительных материалов.....	26
Тема № 4. Природные каменные материалы и изделия	40
2. Самостоятельные работы	47
Работа № 1. Общие свойства строительных материалов	47
Работа № 2. Природные каменные материалы.....	49
Работа № 3. Задачи по изучению основных свойств строительных материалов.....	51
Работа № 4. Задачи по изучению природных каменных материалов.....	55
3. Контрольная работа.....	60
Библиографический список рекомендуемой литературы	68
Приложение. Характеристики свойств строительных материалов.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Для рационального использования строительных материалов современный инженер должен знать свойства и назначение каждого из них. Это дает возможность:

- выбрать материал с соответствующими свойствами для каждой части сооружения с учетом эксплуатационной среды;
- заменить при необходимости один материал на другой без ухудшения качества сооружения;
- правильно применить наилучшие приемы его обработки и укладки в сооружение;
- организовать хранение материала и правильное транспортирование без снижения его качества.

Для решения этих задач горный инженер должен разбираться в обширной номенклатуре строительных материалов, уметь выбрать необходимый материал для конкретных условий и с учетом его качественных показателей и стоимости.

Предлагаемое учебно-методическое пособие содержит задачи по курсу строительных материалов, дающие студентам возможность практически ознакомиться с основными физическими, механическими и другими свойствами различных строительных материалов, правильно оценить эти свойства при выборе того или иного материала для эффективного использования в строительных конструкциях.

Эти знания и навыки будущий специалист получает при изучении дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» в объеме, определенном учебной программой. Без овладения навыками анализа поведения материалов в различных условиях невозможны направленный синтез новых материалов и обоснованное использование их на практике.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с рабочей программой курса «Материаловедение. Технология конструкционных ма-

териалов» и предназначено для студентов 2-го курса, обучающихся по направлению подготовки специалистов 21.05.04 «Горное дело», а также может быть использовано студентами, обучающимися по направлению подготовки бакалавров 27.03.05 «Инноватика», при изучении дисциплины «Химия и материаловедение».

Пособие содержит четыре теоретические темы, четыре практические работы и контрольную работу.

Работы выполняются письменно и после исправлений отмеченных преподавателем ошибок подлежат устной защите.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ

Величина определения	Буквенное обозначение
Истинная плотность, г/см ³ , кг/м ³ , т/м ³	ρ
Средняя плотность, г/см ³ , кг/м ³	ρ_m
Средняя насыпная плотность, или насыпная плотность, г/см ³ , кг/м ³	ρ_n
Относительная плотность (безразмерная величина)	d
Пористость, %	Π_o
Открытая, или капиллярная, пористость, %	$\Pi_{откр.}$
Закрытая пористость, %	$\Pi_{закр.}$
Пустотность, доли или %	Π_v
Влажность, %	W
Влажность по массе, %	W_m
Влажность по объему, %	W_o
Водопоглощение, %	B
Массовое водопоглощение, %	B_m
Объемное водопоглощение, %	B_o
Коэффициент насыщения пор водой, от 0 до 1	K_n
Коэффициент размягчения, от 0 до 1	K_p
Коэффициент морозостойкости, МПа, кгс/см ²	K_F
Термическое сопротивление теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	R_o
Теплопроводность, Вт/(м·°C) или Вт/(м·K)	λ
Теплоемкость, кДж/(кг·°C) или кДж/(кг·K)	C
Относительная деформация, безразмерная величина или мм/м	ε
Напряжение, МПа	σ
Модуль упругости (модуль Юнга), МПа	E
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²)	$R_{сж.}$
Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см ²)	$R_{изг.}$
Предел прочности при растяжении, МПа (кгс/см ²)	$R_{раст.}$
Твердость по Бринеллю, МПа (кгс/см ²)	HB
Твердость по шкале Мооса	H
Истираемость, г/см ² или кг/м ²	I
Коэффициент конструктивного качества, или удельная прочность, в относительных единицах, МПа/г/см ³	$K_{КК}$, или $R_{уд.}$

1. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Тема № 1. Общефизические свойства строительных материалов

Цель: изучить общефизические свойства строительных материалов.

Общие теоретические сведения

К физическим свойствам относят характеристики физического состояния материалов (плотность, показатели плотности и пористости, влажность) и отношение материала к различным физическим процессам (поглощению воды при погружении в нее материала, поглощению влаги из воздуха, фильтрации воды, передаче тепла).

Плотность материала характеризуется отношением его массы к объему. В зависимости от степени уплотнения частиц материала различают истинную, среднюю, среднюю насыпную (насыпную) и относительную плотности.

Истинная плотность – когда в единице объема масса материала находится в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот):

$$\rho = \frac{m}{V_a}, \quad (1)$$

где ρ – истинная плотность, кг/м³, г/см³.

m – масса материала в абсолютно уплотненном состоянии, кг, г.

V_a – объем материала в абсолютно плотном состоянии, м³, дм³, см³.

$$V_a = V_e - V_{II}, \quad (2)$$

где V_e – объем материала в естественном состоянии с порами и пустотами, м³, дм³, см³;

V_{II} – объем пор, заключенных в материале, м³, дм³, см³.

Истинная плотность большинства минеральных, природных и искусственных строительных материалов составляет 2,4–3,1 г/см³, органических (древесины, битумов, пластмасс) – 1,0–1,6 г/см³.

Средняя плотность, или просто плотность, – когда масса материала в единице объема находится в естественном состоянии, т. е. с порами и пустотами. Среднюю плотность вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m_e}{V_e}, \quad (3)$$

где ρ_m – средняя плотность, кг/м³, кг/дм³, г/см³;

m_e – масса материала в естественном состоянии, кг, г.

Многие строительные материалы применяют в виде зерновой смеси. Плотность такой смеси называют *насыпной*, или *средней насыпной, плотностью*. Она характеризуется величиной массы материала, заполняющей единицу объема, которая находится в насыпном состоянии (в насыпной объем включены межзерновые пустоты). Насыпную плотность для щебня, гравия, песка, цемента и других материалов вычисляют по формуле

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H}, \quad (4)$$

где ρ_H – насыпная плотность, кг/м³, кг/дм³, г/см³;

m_H – насыпная масса материала, кг, г;

V_H – насыпной объем в естественном состоянии с учетом межзерновых пустот, м³, дм³, см³.

Насыпная плотность возрастает с увеличением степени уплотнения материала. Поэтому для каждого сыпучего материала стандарты предусматривают степень его уплотнения при определении насыпной плотности, а также объем мерного сосуда, применяемого при испытаниях.

Насыпную плотность определяют как в рыхлонасыпном, так и в уплотненном состоянии. В первом случае материал засыпается в сосуд с определенной высоты, во втором – уплотняется на виброплощадке (30–60 с).

Средняя плотность материалов изменяется в большом диапазоне. Так, пористая пластмасса может иметь среднюю плотность 10 кг/м³, а сталь – 7 850 кг/м³.

Средняя и насыпная плотности большинства материалов обычно меньше их истинной плотности. Отдельные материалы, такие как сталь, стекло, битум, а также жидкие материалы, имеют практически одинаковые истинную и среднюю плотности.

Средняя и насыпная плотности материалов необходимы для определения массы конструктивных элементов сооружений и зданий при расчете их на прочность, загрузке транспортных средств, расчете складов и подъемного оборудования.

Относительная плотность d – отношение средней плотности материала к плотности стандартного вещества. За стандартное вещество принята вода при температуре 4 °С, имеющая плотность 1 000 кг/м³. Относительная плотность (безразмерная величина) определяется по формуле

$$d = \frac{\rho_m}{\rho_B}, \quad (5)$$

где d – относительная плотность;

ρ_m – средняя плотность, г/см³;

ρ_B – плотность воды при 4 °С, 1 г/см³.

Эта величина учитывается в некоторых эмпирических формулах.

Почти все строительные материалы имеют поры.

Пористость – степень заполнения объема материала порами.

Отношение объема всех пор к объему материала называют общей пористостью, которая характеризуется показателем общей пористости Π_o .

Общая пористость (или просто пористость):

$$\Pi_o = \frac{V_{\Pi}}{V_e} = \frac{V_e - V_a}{V_e} = 1 - \frac{V_a}{V_e}, \quad (6)$$

где V_{Π} – объем пор в материале, м³, дм³, см³.

Пористость выражается и в процентах:

$$\Pi_o = 1 - \frac{m/\rho}{m/\rho_m} = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100\%. \quad (7)$$

Поры разделяют на открытые и замкнутые (рис. 1).

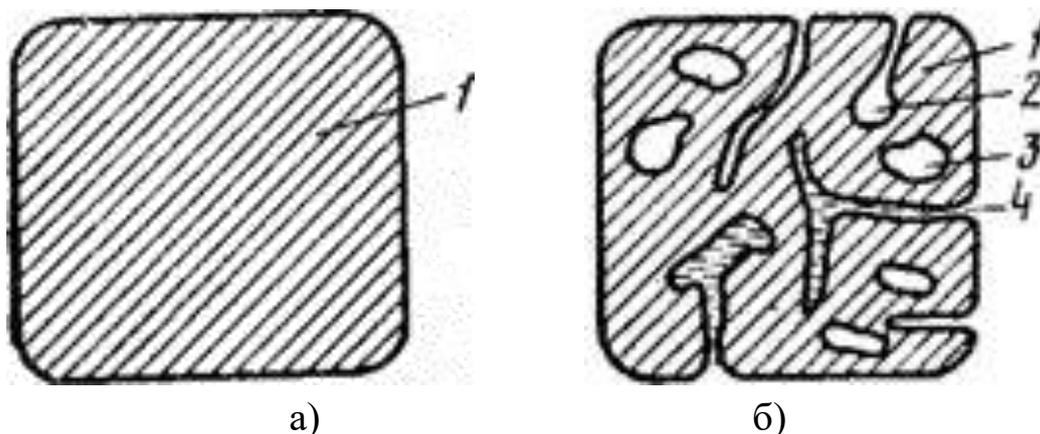


Рис. 1. Схема твердого тела:

а – абсолютно плотного; б – пористого; 1 – твердое вещество; 2 – открытая пора, заполненная воздухом; 3 – замкнутая пора, заполненная воздухом или газом; 4 – открытая пора, заполненная жидкостью

Закрытой пористостью называются изолированные от атмосферы поры, недоступные для проникновения в них жидкостей.

Открытой пористостью называется отношение объема пор, сообщающихся с атмосферой, ко всему объему материала.

Открытые поры оказывают большое влияние на свойства материалов. Материал со структурой, представленной на рис. 1, а, водонепроницаемый. Материал, имеющий структуру, изображенную на рис. 1, б, тем более водопроницаем, чем больше в нем пор, сообщающихся с атмосферой и между собой.

Открытые поры увеличивают водопоглощение и водопроницаемость материала и ухудшают его морозостойкость. Увеличение закрытой пористости за счет открытой увеличивает долговечность материала, снижает его теплопроводность. Для строительных материалов пористость колеблется от 0 до 90 %.

Открытую пористость определяют экспериментальным путем. Для этого заполняют поры, сообщающиеся с атмосферой, какой-либо жидкостью (водой, керосином) и по объему заполнившей поры жидкости судят

об объеме открытых пор. Заполнить весь объем открытых пор жидкостью практически невозможно. Поэтому вычисленная таким способом открытая пористость является величиной условной, и соответствие ее фактической величине зависит от метода испытаний.

Для определения открытой пористости строительных материалов их высушивают до постоянной массы, насыщают жидкостью, чаще всего водой, и взвешивают. Разность масс насыщенного жидкостью и сухого материала, деленная на плотность жидкости, дает объем жидкости, заполнившей поры материала.

При определении показателя открытых капиллярных пор бетона (ГОСТ 12730.4–78) образцы насыщают водой до тех пор, пока разница их масс при взвешивании через 24 ч будет меньше 0,1 % от массы образца.

Плотность одного и того же пористого материала увеличивается с повышением его влажности. Нормативные документы устанавливают для каждого материала нормированную влажность, при которой определяют плотность материала.

У всех абсолютно плотных материалов (стали, высокосортного стекла, битума, пластических масс, кроме пенопластов и поропластов) показатель плотности равен 1.

Материалы, у которых показатель плотности меньше 1, называют пористыми.

Свойства строительных материалов во многом зависят от показателя целостности. Для материала одного и того же состава с увеличением показателя плотности увеличиваются прочность, теплопроводность, водонепроницаемость, долговечность и др.

Для сыпучих материалов определяется пустотность (межзерновая пористость).

Пустотность – это доля межзерновых пустот в насыпном объеме материала. Расчетная формула:

$$\Pi_y = \frac{V_{\text{пуст.}}}{V_H} = \frac{V_H - V}{V_H} = 1 - \frac{V}{V_H} = 1 - \frac{m / \rho_m}{m / \rho_H} = 1 - \frac{\rho_H}{\rho_m}, \quad (8)$$

где Π_y – пустотность, доли или %;

$V_{\text{пуст.}}$ – объем пустот в насыпном объеме материала, м^3 , дм^3 , см^3 ;

V – объем материала, м^3 , дм^3 , см^3 .

Пустотность выражается и в процентах:

$$\Pi_y = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_m} \right) \cdot 100\%. \quad (9)$$

Пустотность – важнейшая характеристика правильности подбора зернового состава заполнителей для бетона, от которых зависит расход вяжущего материала (цемента, битума и др.). На практике пустотность находится в пределах 26,5 ... 47,6 %.

Истинная, средняя плотности и пористость материалов – взаимосвязанные величины. От них зависят прочность, теплопроводность, морозостойкость, водонепроницаемость и другие свойства материалов. Их примерные значения для наиболее распространенных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические свойства некоторых строительных материалов

Наименование материала	Показатели (средние значения)			
	средняя плотность, г/см^3	истинная плотность, г/см^3	пористость, %	теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$
Бетон:				
– тяжелый	2,4	2,6	10	1,16
– легкий	1,0	2,6	61,5	0,35
– ячеистый	0,5	2,6	81	0,2
Кирпич:				
– обыкновенный	1,8	2,65	32	0,8
– пустотелый	1,3	2,65	51	0,55
Природный камень:				
– гранит	2,67	2,7	7,4	2,8
– вулканический туф	1,07	2,6	58	0,4

Наименование материала	Показатели (средние значения)			
	средняя плотность, г/см ³	истинная плотность, г/см ³	пористость, %	теплопроводность, Вт/(м·°С)
Стекло:				
– оконное	2,65	2,65	0,0	0,58
– пеностекло	0,3	2,65	88	0,11
Полимерные материалы:				
– стеклопластик	2,0	2,0	0,0	0,5
– мипора (вспененный полимер)	0,015	1,2	98	0,03
– минераловатные плиты	0,05	2,70	98,0	0,047
– пенополистирол	0,04	1,05	96,0	0,03
Древесные материалы:				
– сосна	0,5	1,53	67	0,17
– древесно-волокнистая плита	0,2	1,5	86	0,06

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название, цель работы, задание.
2. Ответы на вопросы, поставленные в задании.
3. Ответ на индивидуальный вопрос.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения истинной, средней и насыпной плотности материала?
2. По какой формуле рассчитывается истинная плотность материала?
3. Как рассчитывается средняя плотность материала?
4. По какой формуле рассчитывается насыпная плотность материала?
5. Как рассчитывается пористость материала?
6. Какие свойства материала зависят от пористости?
7. Как рассчитывается межзерновая пустотность материала?

8. Дайте определение пористости материала. Как определяют пористость строительных материалов?
9. Укажите, какие свойства материала улучшаются с повышением пористости?
10. Расскажите о физических свойствах строительных материалов (пористости, водопоглощении, влажности, гигроскопичности, влагоотдаче).
11. Дайте определение влажности материала.
12. Расскажите о кристаллических и аморфных телах.

Тема № 2. Гидрофизические и теплофизические свойства строительных материалов

Цель: изучить гидрофизические и теплофизические свойства строительных материалов.

Общие теоретические сведения

Физические свойства материала характеризуют его поведение под воздействием физических факторов, моделирующих влияние внешней среды и условия работы материала (действие воды, высоких и низких температур и т. п.).

Гидрофизические свойства. Строительные материалы в процессе их эксплуатации и хранения могут поглощать влагу. При этом их свойства существенно изменяются. Так, при увлажнении материала повышается его теплопроводность, изменяются средняя плотность, прочность и другие свойства, которые оказывают существенное влияние на механические и теплофизические свойства.

Гигроскопичность – способность материала поглощать водяные пары из воздуха. Такой процесс является сорбцией, он обратим, а влага, которую получает материал во время этого процесса, называется *сорбционной влажностью*. Гигроскопичность и сорбционная влажность измеряются в процентах.

Влага из воздуха оседает (адсорбируется) на поверхности материала, а также заполняет открытые поры радиусом до 1 000 А. Следовательно, большей гигроскопичностью обладают материалы с развитой открытой пористостью при условии преобладания пор радиусом менее 1 000 А. Кроме того, гигроскопичными являются порошкообразные материалы с большим значением удельной поверхности, которая равна площади поверхности зерен порошка в 1 г материала. Гигроскопическое поглощение влаги – процесс обратимый. При повышении влажности и понижении температуры воздуха увеличивается поглощение материалом влаги из воздуха. При повышении температуры и уменьшении влажности воздуха материал отдает поглощенную влагу в воздушную среду. Гигроскопичность бетона характеризуется его сорбционной влажностью, определяемой по ГОСТ 12852.6–77.

Капиллярное всасывание (%) воды пористым материалом происходит, когда часть конструкции находится в воде или соприкасается с ней. Так, грунтовые воды могут подниматься по бетонным, железобетонным и кирпичным стенам на значительную высоту.

Эти процессы увеличивают влажность строительных материалов, которая бывает по массе и по объему.

Влажностью называется отношение массы содержащейся в материале воды к массе сухого материала или к его объему в естественном состоянии, выраженное в процентах. Это свойство можно отнести к параметрам состояния.

Влажность материалов – массовую (W_M) и объемную (W_o) – вычисляют по формулам:

$$W_M = \frac{m_{\text{вл.}} - m_{\text{сух.}}}{m_{\text{сух.}}} \cdot 100\% , \quad (10)$$

где W_M – влажность по массе, %;

$m_{\text{вл.}}$ – масса влажного материала, кг, г;

$m_{\text{сух.}}$ – масса сухого материала, высушенного до постоянной массы, кг, г;

$$W_o = \frac{m_{\text{вл.}} - m_{\text{сух.}}}{V_e} \cdot 100\% = W_M \cdot d, \quad (11)$$

где W_o – влажность по объему, %;

V_e – объем материала в естественном состоянии с порами и пустотами;

d – относительная средняя плотность материала в высушенном состоянии.

Влажность материала оказывает влияние на его свойства. Так, материал с заполненными водой порами обладает более низкой прочностью, чем сухой материал. При повышении влажности снижаются теплозащитные свойства материалов.

Водопоглощением называется способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду. Единица измерения – %.

Различают массовое и объемное водопоглощение. *Массовое водопоглощение* (B_M) определяют отношением массы поглощенной воды при погружении в нее материала к массе сухого материала и вычисляют по формуле

$$B_M = \frac{m_{\text{нас.}} - m_{\text{сух.}}}{m_{\text{сух.}}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

где B_M – массовое водопоглощение;

$m_{\text{нас.}}$ – масса материала, насыщенного водой при стандартных условиях, кг, г;

$m_{\text{сух.}}$ – масса сухого материала, высушенного до постоянной массы, кг, г.

Водопоглощение является очень важным свойством строительных материалов. Особенно это касается стеновых материалов: бетонов, кирпича, древесины. Водопоглощение определяется выдерживанием образца в воде до постоянной массы. Рассмотрим количественные характеристики этого свойства.

Объемное водопоглощение (B_o) определяют отношением массы поглощенной материалом воды к объему материала в сухом состоянии (в %) при определенных ГОСТом условиях и вычисляют по формуле

$$B_o = \frac{m_{\text{нас.}} - m_{\text{сух.}}}{V_{\text{сух.}} \cdot \rho_{\text{в}}} \cdot 100\% = B_M \cdot d \cdot 100\%, \quad (13)$$

где B_o – объемное водопоглощение;

$V_{\text{сух.}}$ – объем материала в сухом состоянии, см^3 ;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, равная 1 г/см^3 .

Методика насыщения бетона водой (ГОСТ 12730.3–78) такая же, как при определении показателя открытых капиллярных пор бетона.

С увеличением водопоглощения снижается морозостойкость материала, в том числе и бетона.

Соотношение между массовым и объемным водопоглощением выглядит следующим образом:

$$\frac{B_o}{B_M} = \frac{(m_{\text{нас.}} - m_{\text{сух.}}) \cdot m_{\text{сух.}}}{V_{\text{сух.}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot (m_{\text{нас.}} - m_{\text{сух.}})} = \frac{m_{\text{сух.}}}{V_{\text{сух.}} \cdot \rho_{\text{в}}}; \quad (14)$$

$$\frac{B_o}{B_M} = \frac{m_e}{V_e} = \rho_m.$$

Пористость и водопоглощение материалов тесно связаны друг с другом. С увеличением пористости увеличивается и водопоглощение. Поэтому эти свойства удобно рассматривать параллельно.

Объемное водопоглощение численно равно открытой пористости:

$$|B_o| = |P_{\text{откр.}}|. \quad (15)$$

Определив водопоглощение по объему и пористость материала, можно легко вычислить закрытую пористость:

$$P_{\text{закр.}} = (P_o - P_{\text{откр.}}) \cdot 100\%. \quad (16)$$

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства строительных материалов, среднюю плотность: материал набухает, его теплопроводность возрастает, прочность и морозостойкость снижаются.

Водопоглощение используют для оценки структуры материала, применяя коэффициент насыщения пор водой.

Коэффициент насыщения пор водой (K_H) – отношение водопоглощения по объему к пористости:

$$K_H = \frac{V_o}{P_o}. \quad (17)$$

K_H изменяется от 0 (все поры в материале замкнуты) до 1 (все поры открыты). Чем больше K_H , тем выше доля открытых пор относительно замкнутых.

По коэффициенту насыщения пор водой можно достаточно косвенно оценивать морозостойкость материала:

– если $K_H \leq 0,6$, то можно считать, что материал морозостойкий;

– если $0,6 < K_H < 0,8$, то материал имеет сомнительную морозостойкость.

Коэффициент размягчения (оценка водостойкости) – степень снижения прочности влажного материала по отношению к сухому. Размягчаемость характеризуется коэффициентом размягчения (K_p), который равен отношению предела прочности материала в водонасыщенном состоянии ($\sigma_{вод.}$) к пределу прочности материала и сухом состоянии ($\sigma_{сух.}$).

Перед испытанием на водостойкость сухие образцы материала погружают на двое суток в воду, после чего их испытывают на сжатие. Коэффициент размягчения K_p вычисляют по формуле

$$K_p = \frac{R_{нас.}}{R_{сух.}}, \quad (18)$$

где $R_{нас.}$, $R_{сух.}$ – предел прочности при сжатии материала соответственно в насыщенном водой и сухом состояниях, МПа (кгс/см^2).

Коэффициент размягчения не растворимых в воде строительных материалов с плотностью 1 (например, плотных гранитов, стали, стекла) равен 1.

Такие материалы, как мел, практически разрушаются при полном насыщении их водой. Если коэффициент размягчения материала меньше 0,7, то не допускается применять его в конструкциях, соприкасающихся с водой, например в фундаментах, заложенных во влажных грунтах.

Для многих строительных материалов (бетона, естественных каменных материалов), если их эксплуатация протекает в водонасыщенном состоянии, характеристики механических свойств устанавливаются испытаниями материалов в водонасыщенном состоянии.

К водостойким относятся материалы, коэффициент размягчения которых больше 0,8.

При поглощении материалом воды прочность его снижается за счет следующих факторов: растворение твердых веществ, входящих в его состав; набухание глинистых минералов, если они входят в состав материала; растворение менее стойкого к действию воды вещества в местах срастания отдельных кристаллов; расклинивающее действие слоя воды, прилегающего к поверхностям материала.

Коэффициент морозостойкости (K_F) (оценка морозостойкости). *Морозостойкостью* называется способность насыщенного водой материала выдерживать определенное число циклов попеременного замораживания и оттаивания.

$$K_F = \frac{R_F}{R_{\text{нас.}}}, \quad (19)$$

где $R_{\text{нас.}}$, R_F – предел прочности при сжатии материала соответственно в насыщенном водой состоянии и после испытания на морозостойкость, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$).

При температуре от 0° и ниже вода превращается в лед. Объем образовавшегося льда примерно на 9 % больше объема воды, в результате чего развивается давление, которое может привести к разрушению материала.

Давление льда в расположенных рядом внутренних порах взаимно компенсируется. В порах, расположенных у поверхности материала, давление, направленное к поверхности, ничем не компенсируется, и поэтому

материал начинает разрушаться с поверхности. Так как в большинстве случаев не весь объем пор заполнен водой, то при замерзании вода расширяется внутрь не заполненных ею пор, снижая тем самым давление на стенки твердого вещества. Поэтому при однократном замерзании воды материал не разрушается. При циклическом замораживании и оттаивании увеличивается количество поглощенной материалом воды, и он постепенно разрушается. Чтобы разрушить материал в конструкции или образцах, при испытаниях на морозостойкость требуется от десятков до сотен циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Под воздействием низких температур материал разрушается тем быстрее, чем больше его открытая пористость, водопоглощение и ниже прочность. На морозостойкость материала большое влияние оказывают размеры пор. Чем меньше диаметр капилляров, тем ниже температура, при которой замораживается заполнившая их вода. Установлено, что в тончайших капиллярах вода не замерзает при температуре до -78 °С. Для большинства строительных материалов замерзание основного объема поглощенной ими воды происходит при температуре от -15 до -18 °С. Поэтому строительные материалы испытывают на морозостойкость путем попеременного замораживания водонасыщенных образцов на воздухе при температуре -15 °С и оттаивания в воде при температуре $+18$ °С.

Образцы замораживают в специальных камерах. Время замораживания и оттаивания зависит от материала и размеров образца. Одно замораживание и оттаивание принимается за один цикл испытания. Число циклов испытаний регламентируется СНиПом или ГОСТом в зависимости от назначения сооружения, климатического пояса, где оно расположено, и условий эксплуатации.

Критериями оценки морозостойкости бетона (ГОСТ 10060–2012) служат изменение прочности и сохранение массы при испытаниях. После прохождения установленного числа циклов испытаний снижение прочности бетона не должно быть более 15 % при сохранении массы образцов.

Теплофизические свойства. Главным теплофизическим свойством для строительных материалов является термическое сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче R .

Термическое сопротивление теплопередаче – способность конструкции противостоять движению тепла через нее. В настоящее время оно устанавливается в СНиП для каждого региона. Так, для условий Москвы оно установлено 2,5 (м²·°С)/Вт. На основании этого показателя происходит теплотехнический расчет конструкции стены. Требуемое значение термического сопротивления теплопередаче R_0 , или термического сопротивления, влияет на толщину стен достаточно сильно, поэтому в индустриальном строительстве применяют двух- и трехслойные ограждающие конструкции с использованием эффективного утеплителя (минераловатных плит, плит из пенопласта). Теплотехнический расчет конструкции стены производится по формуле

$$\frac{R_0}{r} - \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_H} \right) = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (20)$$

где r – коэффициент однородности стены:

- а) для однослойной стены $r = 0,9$;
- б) для двухслойной стены $r = 0,8$;
- в) для трехслойной и более стены $r = 0,7$;

α_B и α_H – теплоотдача внутренней и наружной поверхностей стены соответственно;

δ_i – толщина каждого слоя стены, м;

λ_i – теплопроводность каждого слоя стены, Вт/(м·град).

По формуле (20) находятся толщины каждого слоя и всей стены, так как все остальные значения известны.

Теплопроводность – способность материала проводить тепло через свою толщину. Степень теплопроводности материала характеризуется коэффициентом теплопроводности λ . Она зависит от влажности материала: чем выше влажность, тем больше теплопроводность. Теплопередача происходит в результате перепада температур между поверхностями, ограничивающими материал.

Коэффициент теплопроводности показывает количество тепла Q (Дж), которое проходит в течение 1 с через материал толщиной 1 м и площадью 1 м² при разности температур на противоположных по-

верхностях материала 1 °С (К). Размерность коэффициента теплопроводности – Вт/(м·°С) или Вт/(м·К).

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (21)$$

где Q – количество тепла, Дж;

δ – толщина материала, м;

S – площадь материала, мм²;

τ – время, в течение которого проходил тепловой поток, ч;

$(t_1 - t_2)$ – разность температур по обе стороны слоя материала, °С (К).

Теплопроводность материалов зависит от их относительной плотности, химического состава, структуры, характера пор, влажности и температуры.

Для некоторых материалов установлена эмпирическая зависимость между коэффициентом теплопроводности λ и относительной плотностью d (формула В. П. Некрасова):

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (22)$$

где d – относительная плотность материала:

$$d = \rho_m / \rho_v;$$

ρ_m – средняя плотность материала;

ρ_v – средняя плотность воды, равная 1 000 кг/м³.

Коэффициент теплопроводности зависит от ряда факторов, и в первую очередь от атомно-молекулярного строения вещества. Так, λ различных абсолютно плотных материалов равна: у меди – 350; у стали – 58; у мрамора – 3,5; у льда – 2,32; у воды – 0,58 Вт/(м·град).

Коэффициент теплопроводности материала уменьшается с увеличением пористости. Например, у тяжелого бетона λ составляет 1,3–1,5, у легкого бетона с пористым заполнителем – 0,29–0,7, у пено- и газобетона – 0,18–0,4, у пенопласта – 0,045–0,06 Вт/(м·град).

Снижение коэффициента теплопроводности материала объясняется тем, что λ воздуха, заполняющего поры, незначительное – порядка 0,029–0,035 Вт/(м·град). Чем больше таких малотеплопроводных включений, тем теплопроводность материала меньше.

Для одного и того же пористого материала коэффициент теплопроводности повышается с увеличением влажности материала. Это вызвано тем, что при заполнении пор водой теплопередача увеличивается, так как коэффициент теплопроводности воды равен 0,58 Вт/(м·град).

Особенно сильно снижаются теплозащитные свойства материала при замерзании воды в порах. В этом случае при коэффициенте теплопроводности льда 2,32 Вт/(м·град) теплопередача через поры увеличивается в 80 раз по сравнению с теплопередачей через поры, заполненные воздухом (см. табл. 1).

Теплоемкость – способность материалов поглощать тепло при нагревании и отдавать его при охлаждении. Она оценивается удельной теплоемкостью материала C , (Дж/(кг·°С)), которая показывает количество теплоты Q (Дж), необходимое для нагревания 1 кг материала на 1 °С. Удельную теплоемкость называют коэффициентом теплоемкости и определяют по формуле

$$C = \frac{Q}{m \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (23)$$

где Q – количество теплоты, затраченное на нагревание материала, Дж;

m – масса материала, кг;

$(t_2 - t_1)$ – разность температур материала до и после нагрева, °С.

Удельная теплоемкость каменных материалов – 755–925 Дж/(кг·°С), лесных – 2 420–2 750 Дж/(кг·°С). Наибольшую теплоемкость имеет вода – 4 200 Дж/(кг·°С), поэтому теплоемкость материалов при их увлажнении возрастает.

Теплоемкость учитывается при расчете теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, подогрева материалов в зимний период.

Коэффициент удельной теплоемкости различных видов бетона колеблется незначительно – от 0,7 до 0,95 кДж/(кг·град). С увеличением влажности материала увеличивается его удельная теплоемкость, так как

по сравнению с материалами, применяемыми в строительстве, вода имеет большую удельную теплоемкость – 4,186 8 кДж/(кг·град).

Из строительных материалов наименьшей удельной теплоемкостью обладает асбест – 0,209 3 кДж/(кг·град), наибольшей – древесина – 2,510 кДж/(кг·град). У стали $C = 0,481 5$ кДж/(кг·град). Удельная теплоемкость бетона практически не зависит от его пористости и вида заполнителя и равна примерно 0,84 кДж/(кг·град).

Существуют различные условия, где строительные материалы могут работать при повышенных температурах. При этом они должны обладать тугоплавкостью или огнеупорностью.

Тугоплавкость – способность материала выдерживать без разрушения температуры от 1 350 до 1 580 °С. Единица измерения – °С.

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (выше 1 580 °С), не изменяя формы и требуемых свойств. Единица измерения – °С.

Материалы, обеспечивающие нормальную эксплуатацию выполненных из них конструкций при температурах выше 200 °С, называют жаростойкими. Их подразделяют на жароупорные, эксплуатируемые при температуре до 1 580°, и огнеупорные, эксплуатируемые при температуре выше 1 580 °С.

Огнеупорность материалов определяют путем нагрева образцов испытываемого материала в виде трехгранной пирамидки. За температуру огнеупорности принимают ту температуру, при которой вершина пирамидки вследствие размягчения и оплавления материала коснулась пода печи, в которой пирамидка нагревалась.

Огнестойкостью называется способность материала сохранять определенное время прочность и форму под воздействием огня. Снижение прочности, потеря формы или разрушение могут происходить в результате химического разложения материала под действием высокой температуры, плавления материала, неодинаковых коэффициентов линейного расширения составляющих материала.

Огнестойкость имеет категории. Единица измерения – часы (ч). При пожаре развиваются высокие температуры – около 1 000 °С, в частности при горении полимеров – до 2 000 °С, при горении алюминия – 3 000 °С.

Примером химического разложения может служить разложение известняка, мрамора, доломита под действием высокой температуры. Алюминиевые конструкции под действием температуры свыше 550–660 °С плавятся.

По возгораемости строительные материалы делятся на три группы: негорюемые, трудногорюемые и горюемые.

Негорюемые материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются.

Трудногорюемые под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются, тлеют или обугливаются, а после удаления источника огня горение и тление их прекращаются.

Горюемые материалы под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются или тлеют и продолжают гореть или тлеть после удаления источника огня.

Термическая стойкость материала характеризуется способностью материала выдерживать резкое изменение температуры, не разрушаясь при этом. Термическая стойкость материалов зависит главным образом от величины коэффициента линейного расширения.

Чем выше величина этого коэффициента, тем менее термически стоек материал. Так, изделия из плавленого кварца вследствие малого коэффициента линейного расширения (равного 0,000 000 5) можно нагреть до 1 200 °С, а затем быстро опустить в холодную воду, и они при этом не потрескаются.

При одинаковом коэффициенте линейного расширения термическая стойкость повышается у материалов с более высокой пористостью.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название, цель работы, задание.
2. Ответы на вопросы, поставленные в задании.
3. Ответ на индивидуальный вопрос.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение водопоглощению.
2. Укажите, какое водопоглощение по массе у наиболее легких теплоизоляционных материалов.
3. Укажите причину разрушения материалов при замерзании.
4. Укажите влияние влажности строительных материалов на их свойства.
5. Как рассчитывается коэффициент размягчения строительных материалов?
6. Дайте определение водонепроницаемости, гигроскопичности, приведите примеры водонепроницаемых строительных материалов.
7. Дайте определение морозостойкости строительных материалов. Какие факторы влияют на морозостойкость?
8. Укажите материалы с низкой теплопроводностью.
9. Дайте определения гидрофизическим свойствам материалов (водопоглощению, влажности, гигроскопичности, влагоотдаче).
10. Укажите причины разрушения материалов наружных конструкций зданий и сооружений в зимний период. Как оценивается морозостойкость материала?
11. Выявите главный фактор, который определяет теплопроводность материалов.
12. Дайте определение теплопроводности строительных материалов.
13. Дайте определение огнестойкости строительных материалов и укажите группы строительных материалов по огнестойкости.

Тема № 3. Механические и химические свойства строительных материалов

Цель: изучить механические свойства строительных материалов.

Общие теоретические сведения

Механическими свойствами называют способность материала сопротивляться изменению формы и разрушению от действующих нагрузок.

Нагрузки, действующие на строительные конструкции, делятся на статические и динамические.

Статические нагрузки не вызывают в конструкции значительных инерционных сил. Примером статической нагрузки может служить воздействие снега на фермы крыши.

Динамические нагрузки характеризуются быстрым, зачастую мгновенным, возрастанием их до конечной величины. При этом возникают инерционные силы, которые оказывают дополнительное воздействие на конструкцию. Примером динамической нагрузки может служить воздействие поезда на балки моста.

Механические свойства характеризуются деформативностью, прочностью, твердостью, истираемостью, размягчаемостью и т. д.

Деформативностью называют способность тела изменять форму и объем при действии на него нагрузки. Она характеризуется величинами абсолютной и относительной деформаций.

Абсолютная деформация Δl выражается в линейных единицах и показывает, насколько изменились размеры тела в процессе его нагружения.

Относительной деформацией ε (%) называют отношение абсолютной деформации Δl к начальному размеру конструкций или испытываемого образца l :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% . \quad (24)$$

В зависимости от вида изменения формы тела различают деформации сжатия, растяжения, изгиба, сдвига, кручения. В бетонных и железобетонных конструкциях от воздействия эксплуатационных и монтажных нагрузок наиболее часто возникают деформации сжатия, растяжения, изгиба.

Деформации разделяют на упругие и пластичные. Упругие деформации исчезают после снятия нагрузки, пластичные остаются. Пластичные деформации называют также остаточными.

Основными деформативными свойствами строительных материалов являются упругость, пластичность, хрупкость, модуль упругости, температурные и влажностные деформации, деформации ползучести и усадки.

Упругостью твердого тела называется его свойство деформироваться под нагрузкой и самопроизвольно восстанавливать форму после прекращения внешнего воздействия. Она является обратимой деформацией (рис. 2, а). Единица измерения – МПа. К упругим материалам относятся каучук, резина, сталь, древесина. Упругость является положительным свойством строительных материалов.

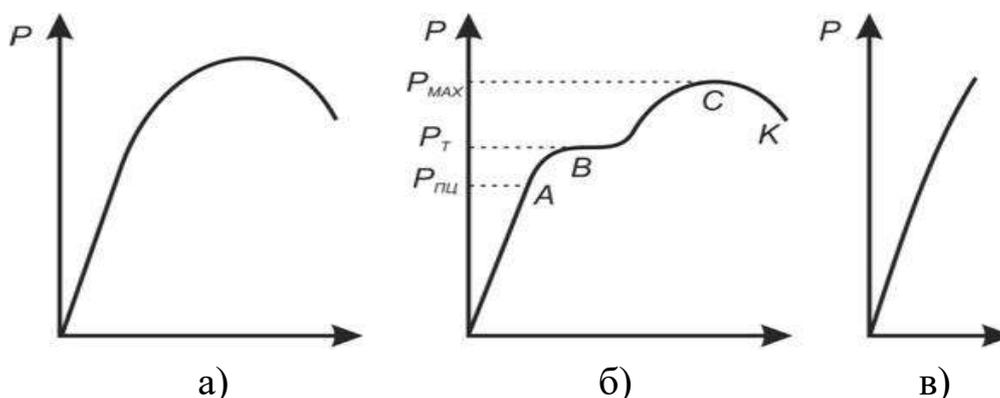


Рис. 2. Виды диаграмм растяжения различных материалов:
а – для упругих материалов; б – для пластичных материалов; в – для хрупких материалов

Модуль упругости E (модуль Юнга) связывает одноосное напряжение и упругую относительную деформацию соотношением, полученным на основании закона Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}; \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (25)$$

где σ – напряжение, МПа;

E – модуль упругости (модуль Юнга), МПа;

$\varepsilon = \Delta l / l_0$ – относительная деформация.

Единица измерения – безразмерная величина или мм/м. Величина модуля упругости зависит от структуры материала: чем выше энергия межатомных связей, тем больше модуль упругости.

Пластичность – это свойство твердого тела изменять свою форму и размеры под действием внешних сил без нарушения сплошности структу-

ры. После снятия нагрузки образуется остаточная необратимая деформация (рис. 2, б). Единица измерения – МПа. Примерами пластичного материала служат битумы (при положительных температурах), некоторые виды пластмасс, сталь, бетонные и растворные смеси (нагретый битум), глиняное тесто.

Это свойство противоположно упругости. Любой материал проявляет в той или иной степени и упругие, и пластические свойства. Наиболее желательными для несущих конструкций являются материалы, которые, наряду с большой упругостью перед разрушением, обладают высокой пластичностью. Разрушение в подобных материалах не будет происходить внезапно.

Хрупкость – это свойство твердого тела разрушаться практически без пластической деформации (рис. 2, в). Единица измерения – МПа. К материалам, имеющим хрупкий характер разрушения, относятся природные каменные материалы, стекло, бетон, кирпич, чугун, керамические материалы.

Хрупкие материалы к моменту разрушения не накапливают значительных остаточных деформаций, пластичные – наоборот.

Под действием окружающей среды, при изменении влажности материала могут возникать влажностные деформации усадки (усушки).

Усадка – уменьшение размеров материала при высыхании. Единица измерения – мм/м, иногда – %.

Набухание – увеличение размеров материала при увлажнении. Единица измерения – мм/м, иногда – %.

Изменение размеров материала под действием его собственной массы называется *ползучестью*. Единица измерения – мм/м, иногда – %.

Деформации усадки и ползучести присущи растворам, бетонам и др. В течение времени они снижаются и затухают в реальных условиях работы конструкций.

Прочностные характеристики материалов установлены для статических и динамических нагрузок. Прочность при статическом нагружении характеризуется величинами напряжений в материале при резких изменениях его состояния в процессе нагружения (при нарушении упругих свойств, резком возрастании деформаций, разрушении и т. д.).

Напряжением называют величину внутреннего усилия в теле, возникшего под действием внешних нагрузок и приходящегося на единицу площади сечения тела. Величины напряжений, соответствующие резким изменениям состояния тела, называют пределами прочности, текучести. Для определения их величин из материалов изготавливают образцы, конфигурация и размеры которых установлены ГОСТом.

Прочностные свойства являются очень важными для строительных материалов. Они определяются для конструкций, которые являются либо несущими, либо основанием для какого-то покрытия и т. д. К ним относятся прочность при сжатии, изгибе, растяжении, а также твердость и истираемость.

Прочность – способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, возникающих под действием внешних сил. Ее оценивают пределом прочности. Единицы измерений – кгс/см², МПа, Н/мм².

Материалы в сооружениях могут испытывать под действием нагрузок различные внутренние напряжения: сжатие, изгиб, растяжение, срез, удар и др.

Прочность строительных материалов оценивается пределом прочности, т. е. напряжением в материале, соответствующим нагрузке, при которой происходит разрушение образца. На практике в сооружениях допускаются напряжения, которые в несколько раз меньше предела прочности. Этим создается запас прочности, установленный государственными нормами. Обычно запас прочности равен 2, 3 и более.

Значение разрушающей силы определяют на прессах или разрывных машинах. По величине предела прочности устанавливается марка строительных материалов по прочности.

Предел прочности – условная характеристика, она может меняться с изменением условий опыта. Испытание стандартных образцов дает информацию о марке материала по прочности. В зависимости от вида материала и действующей нагрузки определяют:

- предел прочности при сжатии $R_{сж}$. (бетоны, растворы, природный камень, древесина, кирпич, вяжущие вещества);

- предел прочности при изгибе $R_{\text{изг.}}$ (бетоны, растворы, древесина, кирпич, вяжущие вещества);
- предел прочности при растяжении $R_{\text{раст.}}$ (бетоны, металлы).

Предел прочности материала при сжатии рассчитывается по формуле

$$R_{\text{сж.}} = \frac{F_p}{S_{\text{обр.}}}, \quad (26)$$

где $R_{\text{сж.}}$ – предел прочности при сжатии, МПа, кгс/см².

F_p – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

$S_{\text{обр.}}$ – площадь поперечного сечения образца, м², см².

Площадь сечения образца при стандартных испытаниях каждого материала постоянная, например, для бетона равна 225 см² (образцы-кубы 15 × 15 × 15 см), для древесины – 4 см² (образцы-кубы 2 × 2 × 2 см).

В зависимости от марки пресса, применяемого при испытании, можно интегрированно получить величину F_p или же определить показание манометра и рассчитать F_p по формуле

$$F_p = A \cdot S_{\text{пор.}}, \quad (27)$$

где A – показания манометра пресса в момент разрушения испытуемого образца, Н/м² (кгс/см²);

$S_{\text{пор.}}$ – площадь поршня пресса, которая обычно задается, м² (см²).

Предел прочности при изгибе можно вычислить следующим образом:

$$R_{\text{изг.}} = \frac{M_{\text{изг.}}}{W}, \quad (28)$$

где $R_{\text{изг.}}$ – предел прочности при изгибе, МПа, кгс/см².

$M_{\text{изг.}}$ – изгибающий момент, кгс·м;

W – момент сопротивления, м³ (см³).

Расчетная формула зависит от схемы приложения нагрузки на испытуемый образец. При одном сосредоточенном грузе и балке (образце) прямоугольного сечения $R_{\text{изг.}}$ рассчитывается по формуле

$$R_{\text{изг.}} = \frac{3}{2} \cdot F_p \cdot \frac{l}{b \cdot h^2}, \quad (29)$$

где F_p – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

l – расстояние (пролет) между опорами (при испытании кирпича $l = 20$ см), см, м;

b и h – ширина и высота поперечного сечения балки (образца), м, см.

Из формулы для расчета предела прочности при изгибе (29) можно определить значение показания манометра пресса:

$$R_{\text{изг.}} = \frac{3}{2} \frac{A \cdot S \cdot l}{b \cdot h^2};$$

$$A = \frac{R_{\text{изг.}} \cdot 2 \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot S \cdot l},$$

где A – показание манометра пресса, МПа;

l – расстояние между опорами ($l = 20$ см при стандартном испытании кирпича), см;

b, h – стандартные размеры ширины и толщины кирпича, см;

$R_{\text{изг.}}$ – предел прочности при изгибе, МПа;

S – площадь поршня пресса, см².

Хрупкие материалы испытывают на сжатие, реже – на растяжение и изгиб. Механические свойства хрупких материалов характеризуются пределом прочности. Величина предела прочности при сжатии у хрупких материалов в несколько раз больше предела прочности при растяжении и изгибе этих же материалов. Характеристикой механических свойств углеродистых сталей, применяемых для изготовления арматуры железобетонных конструкций, является, кроме предела прочности при растяжении, еще и предел текучести. Как видно из рис. 2, в, у хрупких материалов нет площадки текучести. Поэтому предел текучести в этом случае является

условной величиной. Так, за условный предел текучести высокоуглеродистой проволоки принимают такое напряжение, при котором остаточное удлинение равно 0,2 %.

Приведенные выше показатели прочности характеризуют физические свойства материалов. На основе этих показателей строительные нормы устанавливают нормативные сопротивления материала R_H , являющиеся основными характеристиками для расчета конструкций.

У более однородных материалов нормативные сопротивления принимают равными физическим сопротивлениям, установленным для данного материала соответствующим ГОСТом или ТУ. Так, для проволочной арматуры за нормативное сопротивление принимают временное сопротивление разрыву.

У менее однородных материалов учитывают возможное отклонение их механических свойств в сторону снижения прочности. Например, нормативное сопротивление тяжелых бетонов R_b с марочной прочностью при сжатии $R_{ср}$ устанавливается равным 0,78.

Твердостью называется способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела. Твердость пластичных материалов определяют, вдавливая в них под действием постоянной силы шарик определенных размеров из более твердого металла, алмазный конус, алмазную пирамиду или алмазную призму.

Твердость древесины, металлов, керамики, бетона и других материалов определяют, вдавливая в них стальной шарик (метод Бринелля), алмазную пирамиду (методы Роквелла и Виккерса). Твердость определяется нагрузкой, отнесенной к площади отпечатка. Единица измерения – МПа.

Твердость материала не всегда соответствует их прочности. Материалы с разными пределами прочности при сжатии могут обладать примерно одинаковой твердостью.

Определение твердости по методу Бринелля заключается в следующем. В поверхность образца металла вдавливают прессом шарик диаметром 2,5; 5 или 10 мм из стали, упрочненной термической обработкой. Величина нагрузки и время ее приложения установлены ГОСТ 9012–59. После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка и вычисляют его площадь.

Отношение приложенной к шарикау нагрузки (H) к площади отпечатка (мм^2) называется числом твердости по Бринеллю и обозначается HB . Число твердости по Бринеллю равно: для олова – 5; алюминия – 20; железа – 80; стали Ст3 – 125; углеродистой стали с содержанием углерода 0,8 % – 160; вольфрама – 290.

По методу Бринелля испытывают образцы с числом твердости не свыше 450. По величине твердости ориентировочно на основе экспериментальных зависимостей можно судить о пределе прочности металла при растяжении. Так, для термически не упрочненной углеродистой стали предел прочности HB ориентировочно равен 0,36.

Определение твердости по методу Роквелла заключается в следующем. Алмазный конус или стальной шарик вдавливают в поверхность образца или изделия под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок: предварительной и основной. Чем меньше глубина, на которую внедряется алмазный конус или стальной шарик, тем выше твердость испытываемого металла, твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах.

Порядок проведения испытаний по методу Роквелла установлен ГОСТ 9013–59. Прибор, на котором производят испытания, снабжен индикатором часового типа с тремя шкалами: A , B и C , по которым устанавливают число твердости. Твердость по шкалам A и C измеряют при вдавливании в металл алмазного конуса, по шкале B – при вдавливании стального, термически обработанного шарика диаметром 1,588 мм.

В зависимости от шкалы, по которой измеряли твердость при испытании, твердость по Роквеллу HR обозначается HRA , HRB , HRC .

Для ориентировочного перевода твердости по Роквеллу в числа твердости по Бринеллю существуют специальные таблицы.

Твердость хрупких материалов (естественных каменных и горных пород) определяют с помощью шкалы Мооса. Шкала состоит из 10 минералов (талък, гипс, кальцит и др.). Показатели твердости минералов по шкале Мооса приведены в табл. 2 и на рис. 3.

Твердость минералов по шкале Мооса

Минерал	Показатель твердости
Тальк	1
Гипс	2
Кальцит	3
Плавиновый шпат	4
Апатит	5
Ортоклаз (полевой шпат)	6
Кварц	7
Топаз	8
Корунд	9
Алмаз	10



Рис. 3. Значения твердости материалов по шкале Мооса

Твердость минералов возрастает с увеличением их номера. По поверхности исследуемого каменного материала проводят последовательно минералами из шкалы Мооса. После того, как один из минералов прочертит на материале царапину, устанавливают твердость. Например, кварц не сделал царапины, а топаз прочертил. Следовательно, исследуемый каменный материал имеет твердость 7,5.

Чем выше твердость, тем ниже *истираемость* строительных материалов. *Истираемость* (И, г/см²) оценивается потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания, и вычисляется по формуле

$$И = \frac{m_1 - m_2}{S}, \quad (30)$$

где m_1 – масса образцов до истирания, г;

m_2 – масса образца после четырех циклов испытания, г;

S – площадь истираемой грани образца, см².

Истираемость материалов (тяжелого бетона, естественных каменных материалов, клинкерного кирпича) проверяют в тех случаях, когда конструкции в процессе эксплуатации подвержены истиранию, например автодорожные и аэродромные покрытия, гидротехнические сооружения, тротуары, полы, лестничные марши и площадки.

Истираемость бетона (ГОСТ 13087–81) определяют на образцах-кубах с ребром 7,07 см или цилиндрах высотой и диаметром 7,07 см. Образец замеряют, взвешивают и устанавливают на чугунный круг с равномерно насыпанным на него абразивным порошком. Нагружают образец из расчета 0,06 МПа и приводят круг во вращение. Через каждые 110 оборотов образец поворачивают на 90°. После 440 оборотов образец вновь замеряют и взвешивают. По потере массы и уменьшению высоты образца судят о сопротивляемости бетона истиранию.

Для оценки эффективности материала используется формула, связывающая его прочность (R) и относительную среднюю плотность (ρ). Этот показатель называется *удельной прочностью* ($R_{уд.}$), или *коэффициентом конструктивного качества* ($K_{КК}$).

$$K_{\text{КК}} = R_{\text{уд.}} = \frac{R_{\text{сж.}}}{d}, \quad (31)$$

где $R_{\text{уд.}}$ – удельная прочность, кгс/см², МПа.

$R_{\text{сж.}}$ – предел прочности материала при сжатии, МПа;

d – относительная плотность материала.

$K_{\text{КК}}$ изменяется в больших пределах (у кирпича $K_{\text{КК}} = 5 \dots 10$, у стали – 40 ... 50, у древесины – 60 ... 70, у пластмассы – 50 ... 250).

Химические свойства материалов

Химические свойства характеризуются способностью материала к химическим превращениям под влиянием веществ, с которыми данный материал находится в соприкосновении, или при изменении физических условий состояния материала (например, температуры, солнечной радиации).

Химические превращения строительных материалов протекают при технологическом процессе строительства, при эксплуатации построенного сооружения. Так, в состав бетонных смесей входят вода и вяжущие вещества. В результате их химического взаимодействия и последующих физико-химических процессов образуется искусственный каменный материал – бетон. При взаимодействии воды, содержащей соли серной кислоты (сульфаты), с бетоном, приготовленным на портландцементе, бетон разрушается.

К химическим свойствам материалов, применяемых для изготовления бетона и железобетона, в первую очередь относятся растворимость, кристаллизация, выделение и поглощение тепла при химических реакциях, коррозионная стойкость.

Растворимость – способность материала образовывать с жидкостью однородную систему, имеющую во всей массе одинаковый химический состав и физические свойства.

Различные материалы обладают различной растворимостью. Так, в одном литре воды при температуре 18 °С может раствориться 2 г природного гипса, основным минералом которого является $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

10 г строительного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, 1,3 г гидрата окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. С изменением температуры изменяется растворимость веществ.

Кристаллизация – свойство вещества (материала) образовывать кристаллы при переходе из одного физического состояния (жидкого) в другое (твердое).

Выделение и поглощение тепла – свойство материала, проявляющееся при протекании химических реакций. Реакции, сопровождающиеся выделением тепла, называются экзотермическими, поглощением – эндотермическими. Количество выделяющегося или поглощаемого тепла выражается числом джоулей, выделившихся или поглощенных в результате реакции 1 г вещества. При длительно протекающих реакциях определяют количество выделившегося или поглощенного тепла за определенный отрезок времени.

Так, за 28 суток твердения в результате протекающих реакций с водой 1 г глиноземистого цемента выделяется до 505 кДж тепла, 1 г портландцемента – до 380 кДж.

Коррозионная стойкость – свойство материала не разрушаться под воздействием агрессивных сред: кислот, щелочей, солей или газов.

Кислото- и щелочестойкость минеральных материалов оценивается модулем основности M_o :

$$M_o = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{Na}_2\text{O} + \% \text{K}_2\text{O}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{SO}_3}.$$

Агрессивной средой называется контактирующая среда, при взаимодействии с веществами которой изменяются свойства материала, что приводит к снижению его прочности и преждевременному разрушению конструкции.

Агрессивная среда может быть газообразной, жидкой и твердой. Основными средами, в которых развивается коррозия строительных материалов, являются водная и воздушная.

Так, при омывании бетона на портландцементе водой, содержащей сульфат или свободную кислоту, бетон разрушается. Воздух, содержащий влагу и особенно сернистый газ SO_2 , вызывает коррозию (ржавление) металла.

Если M_o больше единицы, то материал стоек к действию щелочей. Он состоит из основных оксидов, но разрушается от действия кислот.

С уменьшением M_o повышается стойкость материала к действию кислот, в материале содержится повышенное количество кремнезема и глинозема, он более стоек в кислых средах.

Высокую кислотостойкость имеют керамические материалы: плитки, трубы, кирпич. Цементные бетоны, материалы из карбонатных горных пород активно разрушаются кислотами.

Органические материалы (битумы, пластмассы, древесина) стойки при воздействии слабых кислот и щелочей.

Естественные и искусственные каменные материалы, в том числе и бетон, состоят главным образом из основных окислов (CaO , MgO , Na_2O , K_2O) и кислотных (SiO_2 , Al_2O_3 , SO_3).

Металлы и сплавы корродируют при воздействии сред, не проводящих электрический ток, например газов при высоких температурах, нефти и нефтепродуктов, а также при воздействии сред, проводящих электроток, водных растворов солей, кислот, щелочей. Первый вид коррозии металлов называется химической коррозией, второй, наиболее часто встречаемый у металлов строительных конструкций, – электрохимической.

Степень коррозионной стойкости материала характеризуется скоростью коррозии при действии агрессивной среды. Один и тот же вид агрессивной среды по-разному действует на различные материалы. Так, грунтовые воды, содержащие соли сульфатов, вызывают коррозию бетона на портландцементе и в то же время не являются агрессивными по отношению к бетону на глиноземистом цементе и к битумам. Растворы щелочей слабой концентрации не агрессивны к углеродистым сталям и в то же время вызывают коррозию алюминия. Поэтому необходимо руководствоваться строительными нормами СНиП 2.03.11–85 по определению агрессивности среды для различных материалов, а также по антикоррозионной защите строительных конструкций.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название, цель работы, задание.
2. Ответы на вопросы, поставленные в задании.
3. Ответ на индивидуальный вопрос.

Контрольные вопросы

1. Что характеризуют механические свойства материалов?
2. Дайте определение прочности материала.
3. Как рассчитывается прочность материала?
4. Что такое твердость материала и как она определяется?
5. Как производится определение сопротивления удару?
6. Как определяется истираемость (износ) щебня (гравия)?
7. Какие факторы влияют на показатель предела прочности материала?
8. Дайте определение прочности и твердости.
9. Как рассчитывается прочность при сжатии?
10. Что характеризуют химические свойства материалов?
11. Дайте определение коррозионной стойкости и растворимости.
12. Укажите, какие материалы хорошо работают на растяжение.

Тема № 4. Природные каменные материалы и изделия

Цель: изучить основные характеристики горных пород, породообразующих минералов и области их применения в строительстве.

Общие теоретические сведения

Природными каменными материалами называют строительные материалы, получаемые из горных пород путем механической обработки или без нее. Под механической обработкой понимают процессы, направленные на изменение формы и размеров массивных горных пород путем раскалывания, дробления, распиливания, шлифования, полирования, просеивания

и т. д. Получаемые при этом строительные материалы почти полностью сохраняют свойства исходной горной породы. Природные каменные материалы обладают рядом ценных строительно-технических свойств: прочностью, твердостью, морозостойкостью, водостойкостью, декоративностью и др.

В табл. 3 приведены сведения о применении горных пород в строительстве.

Таблица 3

Применение горных пород в строительстве

Область применения	Наименование породы	Метод переработки
Бутовый камень	гранит, известняк, диорит, песчаник	взрыв, выломка, раскалывание
Камни для гидросооружений	гранит, диорит, диабаз, габбро	взрыв, выколка, распиливание
Бортовые камни, булыжник, брусчатка	гранит, диорит, диабаз, габбро	раскалывание, вытесывание
Камни и блоки для кладки стен	пористые известняки, известняки-ракушечники	распиливание
Плиты и камни для облицовки стен	гранит, габбро, лабрадорит, мрамор, кварцит, магнезит	распиливание, полирование, раскалывание, шлифование
Щебень	гранит, диорит	дробление, рассев
Гравий	рыхлые залежи гравия	просеивание
Песок	рыхлые залежи песка	просеивание
Вяжущие вещества	глина, известняк, гипс, мергель, магнезит, доломит	дробление, помол, обжиг
Керамика	глина	помол, обжиг
Каменное литье	гранит, диорит, диабаз, габбро	измельчение, плавление, литье

Горные породы – это природные минеральные агрегаты, которые возникли в результате геологических процессов.

По происхождению горные породы подразделяют на изверженные, осадочные и метаморфические.

Изверженные породы образовались путем остывания расплавленной магмы. К ним относятся гранит, диабаз, базальт, диорит.

Осадочные породы образовались в результате накопления продуктов разрушения ранее существовавших горных пород или остатков организ-

мов. К ним относятся: кварцевый песок – продукт разрушения гранита; известняк – продукт накопления известковых панцирей раковин или кристаллизации кальцита и доломита из пересыщенных ими природных вод; песчаник – цементированный природным цементом кварцевый песок.

Метаморфические породы образовались в результате изменения под действием внешних сил (давления, температуры) изверженных или осадочных пород. Например, мрамор получается в результате перекристаллизации известняков без плавления под действием высоких температур и давления, кварциты – при таких же условиях из песчаников.

Правильный выбор области применения природных каменных материалов в строительстве основывается на подробных сведениях о составе, структуре, строении и основных свойствах исходных горных пород, которые зависят от условий их образования. Особое значение следует уделять долговечности горных пород (табл. 4).

Таблица 4

Классификация горных пород по долговечности

Группа	Горные породы	Появление признаков разрушения, лет
Весьма долговечные	Кварцит, мелкозернистый гранит	500–650
Долговечные	Крупнозернистый гранит, сиенит, габбро, лабрадорит	200–250
Относительно долговечные	Белый мрамор, плотный известняк, плотный песчаник	100–150
Недолговечные	Цветной мрамор, известняк, гипс	25–75

Применение каменных материалов в строительстве

Крупные заполнители для тяжелых бетонов

Крупные заполнители для тяжелых бетонов изготавливают из горных пород.

В качестве крупного заполнителя используют как щебень, получаемый дроблением горных пород (ГОСТ 8267–93) или гравия (ГОСТ 10260–82), так и гравий (ГОСТ 8268–82).

Прочность бетона на щебне примерно на 10–15 % выше, чем прочность бетона такого же состава, приготовленного на гравии. Это объясняется лучшим сцеплением щебня, чем гравия с цементным камнем. И поэтому в качестве крупного заполнителя для бетона высокой прочности марки 500 и выше обычно применяют щебень, а для бетона марки 400 и ниже – гравий.

Прочность щебня (гравия) характеризуют марками, устанавливаемыми путем сжатия в цилиндре щебня или гравия (ГОСТ 8269–87). Щебень из пород осадочного и метаморфического происхождения подразделяют на семь марок (от 200 до 1 200), из изверженных пород – на пять марок (от 600 до 1 400).

Добавки к вяжущим материалам и бетонам

Активные минеральные добавки разделяют на природные и искусственные. К природным активным минеральным добавкам относятся породы осадочного и вулканического происхождения.

Породы *осадочного* происхождения включают в себя:

– *трепелы* – рыхлые горные породы, состоящие из микроскопических, преимущественно округлых, зерен и содержащие главным образом кремнезем в аморфном состоянии, диаметр которых колеблется от 0,002 5 до 0,005 мм;

– *опоки* – плотная разновидность трепела. Пористые, обычно крепкие породы, состоящие в основном из аморфного кремнезема тонкозернистого строения;

– *диатомиты* – рыхлая горная порода, состоящая преимущественно из скоплений микроскопических панцирей диатомитовых водорослей, включающих в себя кремнезем в аморфном состоянии;

– *глиежи* – обожженные глинистые породы, образующиеся в результате подземных пожаров в угольных пластах.

Породы *вулканического* происхождения включают в себя:

– *пеплы* – породы, содержащие преимущественно алюмосиликаты и находящиеся в природе в виде рыхлых, частично уплотненных отложений. Кроме аморфного кремнезема, в их состав входят алюмосиликаты

$Al_2O_3 \cdot SiO_2$, которые способны в присутствии воды образовывать с гидроксидом кальция малорастворимые в воде соединения;

- *туфы* – уплотненные и сцементированные вулканические пеплы;
- *пемзы* – камневидные породы, характеризующиеся пористым губчатым строением;
- *витрофиры* – породы порфировой структуры, состоящие в основном из темного вулканического стекла;
- *трассы* – метаморфизованные разновидности вулканических туфов.

Заполнители для приготовления бетона

Заполнители для бетонов классифицируют по следующим признакам.

По размерам зерен – на мелкие (песок) с размером зерен от 0,14 до 5 мм; крупные (щебень, гравий) – от 5 до 70 мм; для бетона, укладываемого в массивные конструкции, допускается применять крупный заполнитель с размером зерен до 120 мм. Щебень получают дроблением горных пород или отходов промышленности.

Гравий – окатанный камень размером от 5 до 150 мм получают путем отсева на фракции природных гравийных или гравийно-песчаных залегающих или обжига специально сформированных гранул из сырьевой массы.

По исходному материалу – на природные заполнители, полученные из горных пород, искусственные и из отходов промышленности.

Мелкие заполнители для тяжелых бетонов

В качестве мелкого заполнителя чаще всего применяют природные пески, реже – дробленые (ГОСТ 8736–2014).

Природные пески, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород, делятся на горные, или овражные, и речные. Форма зерен первого менее окатана, чем второго.

Дробленный песок получают путем измельчения горных пород, а также гравия и отсевов, получаемых при производстве щебня. Форма зерен дробленого песка должна приближаться к кубической.

По прочности природные пески не маркируют. Дробленые разделяют на четыре марки: 400, 600, 800, 1 000. Марку устанавливают по прочности на сжатие водонасыщенной горной породы или по дробимости гравия, из которых изготавливают песок.

Природный песок поставляется без разделения на фракции (природный песок), с разделением на фракции (природный фракционированный песок), с улучшенным зерновым составом (природный обогащенный песок).

Дробленый песок поставляют без фракционирования, с фракционированием и дробленый обогащенный. Фракционированный песок разделен на две фракции: крупную – 5–1,25 мм (или 5–0,63 мм) и мелкую – 1,25–0,14 мм (или 0,63–0,14 мм).

Пористые заполнители для легких бетонов

Пористые заполнители делятся по происхождению на природные, искусственные и заполнители из отходов промышленности.

Природные заполнители получают путем отсева обломочных (сыпучих) горных пород или частичного дробления и отсева. В основном это местные материалы. Объем выпускаемых легких бетонов с такими заполнителями не превышает 16 % от общего производства легких бетонов.

Природные пористые заполнители делятся на заполнители вулканического и осадочного происхождения.

К заполнителям вулканического происхождения относятся песок и щебень из пемзы, вулканического шлака и вулканического туфа.

Пемза – пористая сыпучая порода губчатого или волокнистого строения от серовато-белого до коричневого цвета, состоящая из кислого вулканического стекла.

Вулканический шлак – крупнопористая и пористая сыпучая порода ноздреватого или губчатого строения от красного до черного цвета, состоящая из вулканического стекла основного состава.

Вулканический туф – мелкопористая порода, состоящая из цементированного вулканического стекла и пепла.

К заполнителям осадочного происхождения относятся щебень и песок из карбонатных и кремнеземистых пород.

Пористые карбонатные породы – это пористые известняки, известняки-ракушечники, известковые туфы, доломиты.

По прочности природные пористые заполнители делятся на 11 марок – от П25 до П350.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название, цель работы, задание.
2. Ответы на вопросы, поставленные в задании.
3. Ответ на индивидуальный вопрос.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой горная порода? Что называют минералом?
2. Какие горные породы применяют в строительстве?
3. Назовите основные породообразующие минералы изверженных, осадочных и метаморфических горных пород.
4. Какие строительные материалы и изделия получают из горных пород?
5. Какие горные породы применяют для изготовления минеральных вяжущих веществ?
6. Назовите каменные материалы, которые применяют для изготовления тяжелых бетонов.
7. Перечислите заполнители для изготовления бетона.
8. Как делятся пористые заполнители для легких бетонов по происхождению?

2. САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Работа № 1. Общие свойства строительных материалов

Цель работы: изучить общие свойства материалов.

Теория представлена в темах № 1–3.

Вопросы

1. Как меняются свойства строительных материалов (с примером) под воздействием атмосферных факторов?
2. Механические свойства строительных материалов. Укажите факторы, влияющие на них.
3. Теплопроводность и термическое сопротивление материалов. Факторы, влияющие на теплопроводность материалов.
4. Плотность материалов: истинная, средняя, насыпная, относительная. Пористость. Влияние средней плотности на физико-механические свойства материалов.
5. Твердость и истираемость материалов и способы их определения.
6. Теплоемкость, огнеупорность, огнестойкость и термостойкость строительных материалов.
7. Прочность строительных материалов. Зависимость прочности от строения материала, пористости и влажности.
8. Деформационная способность строительных материалов. Деформации упругие и пластические.
9. Влажность, водопоглощение, гигроскопичность и влагоотдача строительных материалов, способы их определения.
10. Влажность, водопоглощение, гигроскопичность строительных материалов. Равновесная влажность. Влияние влажности на теплопроводность и прочность.

11. Водостойкость строительных материалов и коэффициент размягчения.
12. Морозостойкость строительных материалов и способы ее определения.
13. Что такое строительные материалы, строительные изделия и строительные конструкции? Приведите примеры.
14. Что такое упругость, пластичность, ползучесть и твердость материалов?
15. Укажите, при производстве каких строительных изделий особое значение имеют такие свойства, как пластичность, упругость и твердость.
16. Что такое деформация, напряжение и прочность? Какие виды деформаций могут возникать в изделиях и конструкциях? Приведите примеры. Какими зависимостями связаны напряжения и деформации?
17. Напишите размерность величин, выражающих основные свойства строительных материалов: 1) плотность; 2) пористость; 3) водопоглощение по массе и по объему; 4) сила; 5) механическое напряжение и прочность. Выразите эти размерности в Международной системе единиц (СИ).
18. Каковы основные показатели дальнейшего улучшения производства строительных материалов?
19. Приведите классификацию строительных материалов по различным признакам.
20. Приведите классификацию свойств строительных материалов с примерами.
21. Укажите общетехнические свойства важнейших строительных материалов.
22. Что такое плотность и пористость? Приведите значения плотности и пористости для стеновых строительных материалов.
23. Что такое гидрофизические свойства? Приведите примеры.
24. Что такое теплофизические свойства? Приведите примеры.
25. Что такое теплопроводность? Какое она имеет значение при выборе материалов для ограждающих конструкций зданий и как изменяется при увлажнении материала?

Работа № 2. Природные каменные материалы

Цель работы: изучить природные каменные материалы.

Теория представлена в теме № 4.

Вопросы

1. Что такое минералы и горные породы? Приведите примеры. Дайте основные характеристики минералов и горных пород.
2. Определение минерала и горной породы. Строение горных пород: структура и текстура. Зависимость технических свойств горных пород от строения.
3. Опишите технические свойства важнейших горных пород метаморфического происхождения, применяемых для строительства. Укажите их минералогический состав.
4. Приведите классификацию основных породообразующих минералов.
5. Дайте краткую характеристику основных представителей этих пород и укажите область применения в строительстве. Опишите условия образования осадочных горных пород.
6. Приведите классификацию горных пород с пояснениями.
7. Дайте краткую характеристику основных представителей и укажите область их применения в строительстве. Назовите условия образования магматических горных пород.
8. Опишите основные технические свойства изверженных горных пород, применяемых в строительстве, укажите минералогический состав гранита, сиенита, диабазы и базальта.
9. Что такое выветривание горных пород и какие меры применяются для защиты природных каменных материалов от выветривания?
10. Приведите классификацию строительных материалов из природного камня (с примерами).
11. Породообразующие минералы осадочных горных пород химического происхождения.

12. Осадочные горные породы, используемые для производства минеральных вяжущих веществ, их химический и минеральный составы и свойства.

13. Магматические излившиеся горные породы: минеральный состав, структура, технические свойства и применение в строительстве (ответ можно представить в виде таблицы).

14. Основные породообразующие минералы магматических (изверженных) горных пород. Химический состав и свойства минералов (ответ можно представить в виде таблицы).

15. Изложите классификацию горных пород (по происхождению) и укажите, какие важнейшие породы применяются для устройства дорожных покрытий.

16. Изверженные (магматические) глубинные горные породы: минеральный состав, структура, технические свойства и применение в строительстве (ответ можно представить в виде таблицы).

17. Выпишите в таблицу главнейшие изверженные (глубинные) породы, укажите их среднюю плотность, предел прочности при сжатии, минералогический состав и область применения в строительстве.

18. Видоизмененные (метаморфические) горные породы: минеральный состав, строение, свойства и применение.

19. Класс и группа горных пород (по генетической классификации), к которым относятся гранит, диабаз, известняк, мрамор и кварцит; их свойства и области применения (ответ можно представить в виде таблицы).

20. Породообразующие минералы осадочных горных пород: химический состав и свойства.

21. Выпишите в таблицу главнейшие изверженные (излившиеся) породы, укажите их среднюю плотность, предел прочности при сжатии, минералогический состав и область применения в строительстве.

22. Коррозия цементного камня и защита от коррозии.

23. Выпишите в таблицу главнейшие осадочные породы, укажите их среднюю плотность, предел прочности при сжатии, минералогический состав и область применения в строительстве.

24. Виды природных каменных материалов и изделий и способы защиты их от разрушения.

25. Опишите условия образования метаморфических горных пород. Назовите основных представителей этих пород и укажите область их применения в строительстве.

Работа № 3. Задачи по изучению основных свойств строительных материалов

Цель работы: изучить основные свойства материалов.

Теория представлена в темах № 1–3.

Задачи

1. Масса сухого образца камня (неправильной формы) на воздухе равна 80 г. После нанесения на поверхность камня слоя парафина масса образца в воде стала 37 г. Определить среднюю плотность камня, если на парафинирование образца израсходовано 0,75 г парафина с плотностью 0,9 г/см³ (плотность воды принять 1 г/см³).

2. Масса сухого образца из известняка-ракушечника равна 300 г. После насыщения его водой масса образца увеличилась до 390 г. Найти пористость, объемное и массовое водопоглощение ракушечника, если истинная плотность его камня – 2,4 г/см³, а объем образца составляет 250 см³.

3. Масса образца каменного материала в сухом состоянии составляет 77 г, а после насыщения его водой – 79 г. Требуется определить среднюю плотность и пористость камня, если известно, что истинная плотность камня равна 2,67 г/см³, а объемное водопоглощение – 4,28 %.

4. Образец камня в сухом состоянии весил 250 г. При погружении образца в градуированный цилиндр с водой он поднял уровень воды на 100 см³. После того, как образец был вынут из воды, слегка вытерт и снова погружен в цилиндр с водой, он вытеснил уже 125 см³ воды. Далее образец был высушен и насыщен водой под давлением. Количество поглощенной при этом воды составляло 33 г. Затем образец был снова высушен и измельчен для измерения абсолютного объема, который оказался равным 90 см³. Вычислить среднюю плотность камня в сухом состоянии, массовое и объемное водопоглощение, истинную плотность.

5. Высушенный образец горной породы в виде цилиндра высотой 5 см и диаметром 5 см имеет массу 245 г. После насыщения водой масса его стала равной 249 г. Определить среднюю плотность камня, объемное и массовое водопоглощение.

6. Масса образца камня в сухом состоянии равна 50 г. Определить массу образца после насыщения его водой, а также истинную плотность камня, если известно, что объемное водонасыщение равно 18 %, пористость камня – 25 % и средняя плотность – $1,8 \text{ г/см}^3$.

7. Масса образца горной породы, насыщенного водой, равна 77 г. Определить среднюю плотность и пористость породы, если истинная плотность породы составляет $2,6 \text{ г/см}^3$, объемное водопоглощение – 14,3 %, а масса образца в сухом состоянии равна 70 г.

8. Масса образца известняка в сухом состоянии – 300 г, а после насыщения водой – 308 г. Вычислить влажность известняка, если средняя плотность его равна 2400 кг/м^3 .

9. Масса высушенного образца горной породы, имеющей истинную плотность $2,5 \text{ г/см}^3$, равна 52 г, а после насыщения образца водой – 57,2 г. Определить пористость породы, если известно, что объемное водопоглощение в 1,5 раза больше массового.

10. Камневидный материал в виде образца кубической формы с ребром куба 3 см в воздушно-сухом состоянии имеет массу 19,1 г. Вычислить ориентировочный коэффициент теплопроводности и определить возможное название материала.

11. Масса камня в сухом состоянии равна 50 г. При насыщении его водой она стала 55 г. Определить среднюю плотность, водопоглощение по массе и пористость камня, если объемное водопоглощение составляет 18 %, а истинная плотность камня равна $2,4 \text{ г/см}^3$.

12. Масса сухого образца известняка-ракушечника равна 78 г, после полного насыщения водой масса образца составила 85 г; средняя плотность ракушечника – 1100 кг/м^3 , истинная плотность – $2,5 \text{ г/см}^3$. Определить истинную пористость известняка и его водопоглощение по массе и объему.

13. Проба влажного песка массой 1 кг высыпана в мерный литровый цилиндр, наполненный водой до уровня 500 мл. После погружения песка

уровень воды в цилиндре поднялся до 900 мл. Определить влажность песка. При решении задачи плотность зерен песка принять равной $2,62 \text{ г/см}^3$.

14. Материал имеет истинную плотность $2,5 \text{ г/см}^3$, среднюю плотность – $1\,800 \text{ кг/м}^3$ и обладает водопоглощением по массе 8 %. Какова закрытая пористость материала?

15. Один материал имеет истинную и среднюю плотности соответственно $2,25 \text{ г/см}^3$ и $2\,250 \text{ кг/м}^3$, другой – $1,54 \text{ г/см}^3$ и 600 кг/м^3 . Какой из материалов имеет меньшую теплопроводность и почему?

16. Сухим сыпучим пористым материалом, имеющим насыпную плотность 500 кг/м^3 , заполнен литровый сосуд. Какая доля объема сосуда приходится на твердое вещество материала, если его истинная плотность составляет $2,6 \text{ г/см}^3$?

17. Рассчитать и сравнить коэффициенты конструктивного качества бетона и древесины, если их средняя плотность составляет $2\,350$ и 500 кг/м^3 , а пределы прочности при сжатии – 20 и 40 МПа соответственно.

18. Материал имеет водопоглощение по массе 17,4 %, а по объему – 31,3 %. Определить его истинную плотность, если истинная пористость материала составляет 32,4 %.

19. Масса сухого образца из природного камня равна 76,2 г, а в насыщенном водой состоянии – 84,8 г. Истинная плотность камня составляет $2,4 \text{ г/см}^3$. Определить среднюю плотность природного камня, если его объемное водопоглощение равно 21 %. Какие поры преобладают в камне: открытые или закрытые?

20. Проба влажного кварцевого песка массой 1 кг высыпана в мерный литровый цилиндр, наполненный водой до уровня 500 мл. После погружения песка уровень воды в цилиндре поднялся до 900 мл. Определить влажность песка. При решении задачи плотность зерен песка принять равной $2,65 \text{ г/см}^3$.

21. Образец камня в сухом состоянии весит 150 г, а после насыщения его водой – 200 г. Определить пористость, водопоглощение по массе и объему, если истинная плотность равна $2,4 \text{ г/см}^3$, а объем – 130 см^3 .

22. Масса высушенного образца горной породы, имеющей истинную плотность $2,5 \text{ г/см}^3$, равна 35 г, а после насыщения образца водой масса увеличилась до 38 г. Определить пористость породы, если известно, что

водопоглощение по объему в 1,5 раза больше, чем водопоглощение по массе.

23. Определить среднюю плотность и пористость кирпича, если его масса в сухом состоянии – 4,3 кг, а в насыщенном водой – 4,5 кг. Размер кирпича соответствует стандарту, истинная плотность составляет $2,5 \text{ г/см}^3$.

24. Материал имеет истинную плотность $2,5 \text{ г/см}^3$, среднюю плотность – 1800 кг/м^3 и обладает водопоглощением по массе 8 %. Какова закрытая пористость материала?

25. Материал имеет водопоглощение по массе 17,4 %, а по объему – 31,3 %. Определить истинную плотность материала, если его истинная пористость составляет 32,4 %.

26. Один строительный материал имеет истинную и среднюю плотности соответственно $2,55 \text{ г/см}^3$ и 2350 кг/м^3 , другой – $1,54 \text{ г/см}^3$ и 600 кг/м^3 . Какой из материалов имеет меньшую теплопроводность и почему?

27. Масса образца сухого материала равна 104,8 г. После полного насыщения водой масса образца составила 167,7 г. Установить соотношение между закрытой и открытой пористостью материала, если его истинная плотность равна $1,62 \text{ г/см}^3$, а средняя плотность – 550 кг/м^3 .

28. Определить коэффициент размягчения плотного известняка, если прочность его образца-куба в сухом состоянии 95 МПа, а в насыщенном водой состоянии – 80 МПа. Сделать вывод о водостойкости материала.

29. Определить среднюю плотность кирпича, если его масса в сухом состоянии составляет 3,5 кг. Размер керамического кирпича соответствует стандарту.

Контрольные вопросы

1. Объясните зависимость между прочностью и плотностью материала?
2. Дайте определения твердости, истираемости и износу материалов.
3. Дайте определения относительной плотности и пористости материалов.
4. Дайте определение водопоглощению строительных материалов.
5. Дайте определение водонепроницаемости, гигроскопичности. Приведите примеры водонепроницаемых строительных материалов.

6. Дайте определение морозостойкости строительных материалов. Укажите факторы, влияющие на морозостойкость.

7. Дайте определение предела прочности при сжатии и при изгибе природных каменных материалов.

8. Дайте определение прочности материалов. Укажите факторы, влияющие на прочность.

Работа № 4. Задачи по изучению природных каменных материалов

Цель работы: изучить природные каменные материалы.

Теория представлена в теме № 4.

Задачи

1. При испытании образца-цилиндра из гранита диаметром 5 см максимальное давление по манометру гидравлического пресса $p = 6$ МПа. Диаметр поршня пресса – 300 мм. На преодоление вредных сопротивлений ненагруженного поршня данного пресса затрачивается сила $P = 3\,200$ Н, а в процессе нагружения поршня расходуется $E = 18$ Р. Определить предел прочности образца горной породы при сжатии и ее марку.

2. Образец-цилиндр с $D = H = 10$ см из известняка при испытании на сжатие по боковой поверхности (на раскол) разделился на две части при разрушающем усилии 85 кН. Установить марку известняка.

3. Дать заключение о морозостойкости горной породы, если водопоглощение равно 3,6 %, а длительное водонасыщение – 4 %.

4. Оценить экономическую эффективность местных природных материалов: обыкновенных известняков, ракушечников и известковых туфов.

Их пределы прочности на сжатие в зависимости от плотности и других факторов могут быть следующими: у обыкновенных известняков – от 100 до 1 600 кг/см²; у ракушечника – от 4 до 150 кг/см²; у известковых туфов – от 50 до 150 кг/см², а средняя плотность равна соответственно 1 800–2 600, 800–2 000 и 1 300–1 700 кг/м³. Оценку экономической эффективности вести по коэффициентам конструктивного качества.

5. Каменный материал имеет следующий химический состав: CaO – 20 %, SiO₂ – 55 %, Al₂O₃ – 5 %. Потери при прокаливании (при 1 000°) – 20 %. При пробе соляной кислотой обнаружено содержание углекислого кальция.

При анализе полагать, что других материалов, содержащих кальций, кроме CaCO₃, в составе данного каменного материала не имеется.

Определить минералогический состав, по которому установить название исследуемого материала.

6. Установить возможность применения для устройства фундаментов во влажных грунтах бутового камня из известняка, имеющего в сухом состоянии предел прочности при сжатии 101,2 МПа, а в насыщенном водой состоянии – 86,2 МПа.

7. Масса сухого образца базальта составляет 100 г, насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе и в воде, – 110 и 75 г соответственно. Определить среднюю плотность базальта.

8. Масса сухого образца известняка-ракушечника составляет 300 г, насыщенного водой – 390 г. Определить истинную пористость, водопоглощение по массе и объему, если истинная плотность ракушечника равна 2,4 г/см³, а объем образца – 250 см³.

9. Сухой образец известняка размером 4 × 4 × 4 см имеет массу 128,55 г, а насыщенный водой – 135,65 г. Определить истинную и кажущуюся (открытую) пористость известняка, если его истинная плотность составляет 2,65 г/см³.

10. Масса камня в сухом состоянии составляет 60 г, а в насыщенном водой – 70 г. Определить среднюю плотность, водопоглощение по массе и истинную пористость камня, если объемное водопоглощение равно 21 %, а истинная плотность – 2,4 г/см³.

11. Массы образцов гранита и мрамора до испытания на истираемость составляли 160,55 и 150,45 г соответственно, после испытания – 158,05 и 143,05 г. Площадь поверхности истирания образцов – 15,64 и 15,25 см² соответственно. Рассчитать истираемость и объяснить причину различной истираемости гранита и мрамора.

12. Масса образца горной породы, насыщенной водой, составляет 56 г. Определить среднюю плотность и пористость породы, если ее истинная

плотность равна $2,5 \text{ г/см}^3$, объемное водопоглощение – 18 %, а масса образца в сухом состоянии – 50 г.

13. Масса образца горной породы, насыщенной водой, равна 60 г. Определить среднюю плотность и пористость породы, если ее плотность равна $2,5 \text{ г/см}^3$, водопоглощение по объему – 12 %, а масса сухого образца равна 50 г.

14. Определить пористость камня-ракушечника, если размер образца $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, масса образца – 1,6 кг, истинная плотность – $2,4 \text{ г/см}^3$.

15. Щебень имеет насыпную плотность 1450 кг/м^3 . Плотность зерен щебня составляет $2,63 \text{ г/см}^3$. Сколько потребуется кварцевого песка с насыпной плотностью 1600 кг/м^3 для заполнения пустот между зернами щебня? Какова расчетная минимальная пустотность такой смеси? При решении задачи плотность зерен песка принять равной $2,65 \text{ г/см}^3$.

16. Керамзитовый и природный гравии имеют следующие характеристики: истинная плотность – $2,51$ и $2,72 \text{ г/см}^3$, плотность зерен – $1,19$ и $2,65 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность – 600 и 1540 кг/м^3 соответственно. Определить пустотность керамзитового и природного гравия. Для решения задачи выбрать только необходимые данные из условия задачи.

17. Определить пустотность гранитного щебня, если средняя плотность его зерен равна $2,57 \text{ г/см}^3$, а насыпная плотность – 1440 кг/м^3 . Десять литров данного щебня перемешали с пятью литрами кварцевого песка, обладающего пустотностью 38 %. Какой будет пустотность полученной смеси заполнителей?

18. Массы образцов гранита и мрамора до испытания на истираемость составляли $160,5$ и $156,4 \text{ г}$ соответственно, после испытания – $158,7$ и $145,1 \text{ г}$. Площадь поверхности истирания образцов – $15,6$ и $15,2 \text{ см}^2$ соответственно. Рассчитать истираемость и объяснить причину различной истираемости гранита и мрамора.

19. Масса сухого образца известняка-ракушечника составляет $308,4 \text{ г}$, насыщенного водой – $398,8 \text{ г}$. Определить закрытую пористость камня, если его истинная плотность равна $2,6 \text{ г/см}^3$, а объем образца – $243,7 \text{ см}^3$.

20. Сухой образец известняка размером $4 \times 4 \times 4 \text{ см}$ имеет массу $128,5 \text{ г}$, а насыщенный водой – $135,6 \text{ г}$. Определить истинную и кажущуюся (от-

крытую) пористость известняка, если его истинная плотность составляет $2,75 \text{ г/см}^3$.

21. Щебень имеет насыпную плотность $1\,440 \text{ кг/м}^3$. Плотность зерен щебня составляет $2,6 \text{ г/см}^3$. Сколько потребуется кварцевого песка (в % от массы щебня) с насыпной плотностью $1\,560 \text{ кг/м}^3$ для заполнения пустот между зернами щебня? Какова расчетная пустотность такой смеси заполнителей? При решении задачи плотность зерен песка принять равной $2,63 \text{ г/см}^3$.

22. Масса сухого образца базальта составляет 100 г , насыщенных водой образцов, взвешенных на воздухе и в воде, – 110 и 75 г соответственно. Определить среднюю плотность базальта.

23. Масса образца из природного каменного материала в сухом состоянии равна $0,05 \text{ кг}$. Определить истинную плотность и массу образца после насыщения водой, если известно, что водопоглощение образца по объему составляет 18% , пористость – 25% , а средняя плотность – $1\,800 \text{ кг/м}^3$.

24. Масса сухого образца из ракушечника равна 240 г . После насыщения его водой масса образца увеличилась до 270 г . Определить пористость и массовое водопоглощение ракушечника, если истинная плотность его равна $2\,400 \text{ кг/м}^3$, а объем образца составляет 150 см^3 .

25. Масса высушенного образца горной породы равна 52 г , а после насыщения образца водой – $57,2 \text{ г}$. Определить общую, открытую и закрытую пористости породы, если известно, что объемное водопоглощение в $1,5$ раза больше массового, а истинная плотность горной породы – $2\,500 \text{ кг/м}^3$.

26. Определить истинную плотность природного гипса, если при пикнометрическом анализе получены следующие данные:

- масса навески гипса – 10 г ;
- масса пикнометра с водой и порошком – $129,2 \text{ г}$;
- масса пикнометра с водой – 123 г .

27. Масса сухого образца камня (неправильной формы) на воздухе равна 80 г . После нанесения на поверхность камня защитного слоя парафина масса его в воде стала 37 г . Определить среднюю плотность камня, если на парафинирование образца израсходовано $0,75 \text{ г}$ парафина с истинной плотностью 900 кг/м^3 , плотность воды принять $1\,000 \text{ кг/м}^3$.

28. Определить среднюю плотность каменного образца неправильной формы, если на воздухе он имеет массу 110 г, а масса образца, покрытого защитным слоем парафина, равна 110,98 г. Масса образца в воде после парафинирования составила 55 г. Плотность парафина – $0,9 \text{ г/см}^3$, воды – 1 г/см^3 .

29. Каменный материал в виде образца кубической формы с ребром куба 3 см в воздушно-сухом состоянии имеет массу 23 г. Вычислить ориентировочную теплопроводность и определить возможное название материала.

30. Определить пористость горной породы, если известно, что ее водопоглощение по объему в 1,7 раза больше водопоглощения по массе, а плотность твердого вещества равна $2,6 \text{ г/см}^3$.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об использовании природных каменных материалов в строительстве.

2. Как классифицируют горные породы?

3. Чем различаются между собой горная порода и минерал?

4. Что вы знаете о магматических породах?

5. Как образовались осадочные породы? Расскажите об осадочных породах механического происхождения.

6. Какая органогенная осадочная порода является одной из главных пород, применяемых в строительстве? Расскажите о ее составе и свойствах.

7. Чем отличается мрамор от известняка?

8. Как получают строительные изделия (например, стеновые камни) из мягких пород (туфа, ракушечника и т. п.)?

9. Расскажите о преимуществах алмазной распиловки камня.

10. Какие пути используются для получения изделий из отходов камнеобработки?

11. В чем заключается коррозия изделий из природного камня и как повышают стойкость горных пород?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные работы следует представлять в печатном виде, выполненном через полуторный межстрочный интервал, шрифтом Times New Roman (кегель 14), на одной стороне листа формата А4. Листы сшивают в папке-скоросшивателе или переплетают. При оформлении контрольной работы используется сквозная нумерация страниц.

Контрольная работа, выполненная не по соответствующему шифру, не засчитывается и возвращается студенту без проверки.

Получив контрольную работу с рецензией, студент обязан внести в нее все исправления и дополнения, указанные преподавателем. Если работа не зачтена, то внося требуемые исправления (на отдельных листах), следует представить полностью всю работу для повторного рецензирования.

Выполненная контрольная работа должна быть сдана на кафедру МиТОП совместно с методическими указаниями в сроки, оговоренные на установочной лекции.

Вариант № 1

1. Свойства материалов по отношению к действию воды (гидрофизические свойства).

2. Как меняются свойства строительных материалов под действием атмосферных факторов? Приведите сравнительные примеры.

3. Сколько получится известкового теста, содержащего 50 % воды, из 2 т известки-кипелки (CaO), имеющей активность 85 %?

Вариант № 2

1. Распространенные горные породы осадочного происхождения, их характеристика и применение в строительстве.

2. Шлакопортландцемент, его свойства и применение.

3. Подберите шкалу для испытания на сжатие в образцах-кубах с ребром 15 см после 28 суток нормального твердения. Проектируемая марка бетона «400». Гидравлический пресс имеет измерительные шкалы на 50, 150 и 300 тс (50–9,8–103 Н; 150–9,8–103 Н; 300–9,8–103 Н).

Вариант № 3

1. Опишите горные породы, состоящие в основном из карбонатов и сульфатов кальция и магния, и приведите примеры их использования в производстве строительных материалов.

2. Дайте сравнительную оценку кирпича керамического и силикатного по виду сырья, технологии получения и эксплуатационным свойствам.

3. Определите, какое показание манометра пресса соответствовало этому напряжению, если диаметр поршня равен 9 см. При стандартном испытании керамического кирпича на изгиб оказалось, что предел прочности равен 3,53 МПа.

Вариант № 4

1. Дайте понятие теплопроводности, покажите на примерах ее зависимость от пористости и влажности материала.

2. К какому типу и какой группе горных пород относятся: гравий, кварцит, доломит, базальт, песок, известняк и мрамор?

3. Известно, что истинная плотность обоих камней одинакова и равна $2,72 \text{ г/см}^3$, а средняя плотность камня А на 20 % больше, чем камня В, у которого водопоглощение по объему в 1,8 раза больше поглощения по массе? Во сколько раз пористость камня А отличается от пористости камня В?

Вариант № 5

1. Техническая оценка строительных изделий. Приведите сравнительную техническую оценку нескольких видов стеновых материалов.

2. Свойства материалов по отношению к действию тепла (теплофизические свойства).

3. При испытании образца в сухом состоянии на сжатие показания манометра пресса при разрушении образца равны 38,8 МПа, а в водонасыщенном состоянии – 34,1 МПа. Определите коэффициент размягчения и дайте оценку водостойкости материала.

Вариант № 6

1. Дайте характеристику горных пород, используемых для получения известковых и гипсовых вяжущих веществ.

2. Что такое керамзит, его свойства, для каких целей применяется в строительстве?

3. Значения масс образца: взвешенного на воздухе – 80 г; покрытого парафином (для предотвращения водопоглощения) и взвешенного на воздухе – 80,75 г; покрытого парафином и взвешенного в воде – 39 г. Плотность парафина принять равной $0,93 \text{ г/см}^3$. Определите среднюю плотность образца материала неправильной геометрической формы.

Вариант № 7

1. Опишите главнейшие изверженные породы, их свойства и применение.

2. Шлаковая пемза (термозит), ее свойства и применение.

3. Определите предел прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии, если коэффициент размягчения равен 0,6, а площадь образца в 2 раза больше площади поршня гидравлического пресса. Образец известняка в сухом состоянии при испытании на сжатие разрушился при показании манометра пресса 100 МПа.

Вариант № 8

1. Механические свойства строительных материалов.

2. Свойства портландцемента, его маркировка.

3. Определите среднюю плотность и пористость портландцемента, если водопоглощение по объему составляет 8,2 %, а истинная плотность – $2,68 \text{ г/см}^3$, при условии, что масса образца материала в сухом состоянии – 76 г, в насыщенном водой – 79 г.

Вариант № 9

1. Как изменяются свойства строительных материалов при увлажнении? Приведите сравнительные примеры.

2. Основные порообразующие материалы изверженных горных пород. Какие минералы придают горной породе высокую ударную прочность?

3. Определите коэффициент теплопроводности и возможное наименование материала, если материал в виде куба с ребром, равным 6,5 см, в воздушно-сухом состоянии имеет массу 495 г.

Вариант № 10

1. Что такое выветривание горных пород и меры защиты от выветривания каменных изделий и конструкций.

2. Дайте перечень и характеристику распространенных искусственных пористых заполнителей.

3. Химически связанная вода составляет 18 % от массы цемента, истинная плотность которого $3,1 \text{ г/см}^3$. Определите пористость цементного камня при водоцементном отношении $В/Ц = 0,45$.

Вариант № 11

1. Что такое цементный бетон, как его изготавливают и от чего зависит его прочность?

2. В каких сечениях изучается макроструктура древесины? Укажите основные элементы торцового сечения дерева.

3. Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие образца-кубика строительного гипса с ребром 7 см составила 45 Н в сухом состоянии, а после насыщения водой – 18 Н. Определите, является ли материал водостойким.

Вариант № 12

1. Как изготавливают пенобетон и газобетон и в чем их отличие друг от друга по принципу поризации?

2. Какие главные физико-химические процессы протекают при автоклавной обработке силикатных кирпича и камней?

3. Определите номинальный состав по объему и расход материалов на 1 м^3 плотного бетона, если номинальный состав его по массе $1 : 2 : 5$ при $В/Ц = 0,6$. Принять при расчетах, что материалы сухие и имеют следующие плотности в насыпном состоянии: песок – $1\,600 \text{ кг/м}^3$; щебень – $1\,450 \text{ кг/м}^3$; цемент – $1\,300 \text{ кг/м}^3$. Коэффициентом выхода нужно задаться ($0,6-0,7$).

Вариант № 13

1. Изложите существующие способы формования железобетонных изделий.

2. Материалы для изготовления арболита, их свойства.

3. При решении задачи не учитывать образование пор от воздухововлечения и снижение пористости за счет увеличения объема твердой фазы цемента при гидратации. Расход цемента – 400 кг на 1 м^3 бетона; $В/Ц = 0,52$; химически связанной с цементом воды – 17% от массы цемента. Определите пористость затвердевшего бетона с учетом пор, образованных избыточной водой затворения.

Вариант № 14

1. Охарактеризуйте основные схемы производства сборного железобетона.

2. Какие химические реакции и физико-химические процессы протекают при пропаривании в автоклаве известково-песчаных камней?

3. Определите пористость бетонов, приготовленных из смесей с $В/Ц$, равным $0,48$ и $0,7$. В обоих случаях количество воды затворения составило 200 л/м^3 ; воды, химически связанной с цементом, – 16% от массы цемента. Поры, образованные вовлеченным в бетон воздухом, можно не учитывать.

Вариант № 15

1. Как изготавливают ячеистые бетоны с применением алюминиевой пудры ПАП-3 и в чем состоят основные этапы технологии?

2. Классификация теплоизоляционных материалов.

3. Определите номинальный состав по объему и расход материалов на 1 м^3 плотного бетона, если номинальный состав его по массе $1 : 2 : 5$

при $V/C = 0,6$. Принять при расчетах, что материалы сухие и имеют следующие плотности в насыпном состоянии: песок – $1\ 600\ \text{кг/м}^3$; щебень – $1\ 450\ \text{кг/м}^3$; цемент – $1\ 300\ \text{кг/м}^3$. Коэффициентом выхода нужно задаться ($0,6-0,7$).

Вариант № 16

1. От чего зависит прочность строительного раствора? Приведите формулу прочности.

2. Виды строительных растворов и их применение.

3. Масса пробы влажного щебня в насыпном виде в емкости 5 л равна 7,3 кг, а масса пробы высушенного щебня – 7,0 кг. Плотность зерен щебня – $2\ 700\ \text{кг/м}^3$. Вычислите пустотность и влажность щебня.

Вариант № 17

1. Что такое крупнопористый цементный бетон? Каковы его основные свойства и где он применяется в строительстве?

2. Что служит сырьем для изготовления неорганических теплоизоляционных материалов и в каком виде эти материалы применяют?

3. Манометр гидравлического пресса в момент разрушения стандартного образца древесины с влажностью 19,0 % при сжатии вдоль волокон показал давление 4 МПа. Определите предел прочности при сжатии при влажности 12 %, если площадь поршня пресса равна 52 см.

Вариант № 18

1. Что такое предварительно напряженный железобетон и каковы его преимущества по сравнению с ненапряженным железобетоном?

2. Технология изготовления минеральной ваты.

3. Определите активность цемента, если $V/C = 0,45$. Бетон на щебне с 7-дневным сроком твердения показал предел прочности при сжатии 20 МПа.

Вариант № 19

1. Как изготавливают газо- и пенобетон и в чем основное отличие их технологий?

2. В чем преимущества неорганических теплоизоляционных материалов перед органическими?

3. Определите пористость цементного бетона состава 1 : 1,9 : 4,5 по массе при В/Ц = 0,65, если химически связанная вода составляет 15 % от массы цемента. Истинная плотность цемента равна 3,1 г/см³, а средняя плотность смеси песка и щебня – 2,65 г/см³. Средняя плотность бетона – 2 420 кг/м³ при влажности 2 %.

Вариант № 20

1. Коррозия цементного бетона и способы защиты бетона от коррозии.

2. Как изменяются свойства строительных материалов по мере их увлажнения? Что такое коэффициент размягчения?

3. Насыпная плотность материалов: песок – 1,6 т/м³; гравий – 1,5 т/м³; цемент – 1,3 т/м³; В/Ц = 0,4. Определите коэффициент выхода и плотность цементного бетона, если для его получения в объеме 555 м³ израсходовано 162,5 т цемента, имеющего стандартную плотность в насыпном состоянии, 275 м³ песка и 525 м³ гравия.

Вариант № 21

1. Каково значение увеличения производства строительных материалов в капитальном строительстве?

2. Какие добавки применяют при производстве пуццоланового портландцемента? Каковы его свойства и где его применяют?

3. Определите среднюю плотность, массовое водопоглощение и пористость камня, если его объемное водопоглощение составляет 10 %, а истинная плотность равна 2,5 г/см³. Масса образца камня в сухом состоянии – 100 г. При насыщении его водой масса камня увеличилась до 118 г.

Вариант № 22

1. Перечислите основные свойства гранита, мрамора, известняка и вулканического туфа, указав, для каких целей в строительстве применяют эти материалы.

2. Опишите способы, обеспечивающие механическое упрочнение арматурной стали.

3. Рассчитайте расход глины (по массе и объему), необходимый для изготовления 30 000 шт. кирпичей. Средняя плотность кирпича – $1\,760\text{ кг/м}^3$, средняя плотность сырой глины в карьере – $1\,640\text{ кг/м}^3$, ее влажность – 15 %; при обжиге сырца в печи потеря при прокаливании составляет 8 % от массы сухой глины.

Вариант № 23

1. В чем заключается экономическая эффективность применения в строительстве местных строительных материалов?

2. Перечислите виды легких бетонов на пористых заполнителях, опишите их свойства и область применения.

3. Сколько кирпича получится из $2,5\text{ м}^3$ глины, если средняя плотность кирпича равна $1\,700\text{ кг/м}^3$, насыпная плотность карьерной глины – $1\,600\text{ кг/м}^3$, влажность глины после сушки – 12 %, потери при обжиге (потери при прокаливании) – 8 % от массы сухой глины.

Вариант № 24

1. Что такое прочность материала? Как ее определяют? Укажите значение предела прочности при сжатии для известняков, гранита, бетона, кирпича, стали.

2. Какие разновидности облицовочной керамики применяют в строительстве и каковы требования к качеству?

3. Определите и сравните коэффициенты конструктивного качества кирпича ($R_{сж.} = 20\text{ МПа}$; $\rho_m = 1\,800\text{ кг/м}^3$), древесины ($R_{сж.} = 51\text{ МПа}$; $\rho_m = 530\text{ кг/м}^3$) и тяжелого бетона ($R_{сж.} = 30\text{ МПа}$; $\rho_m = 2\,400\text{ кг/м}^3$).

Вариант № 25

1. Что такое морозостойкость и каковы методы ее определения? Какие требования по морозостойкости предъявляют к керамическим стеновым и облицовочным материалам?

2. Что представляют собой пустотелые стеклянные блоки? Укажите область применения.

3. Определите во сколько раз коэффициент теплопроводности тяжелого бетона ($\rho_b = 2\,300\text{ кг/м}^3$) больше, чем у кирпича ($\rho_k = 1\,800\text{ кг/м}^3$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов, В. Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / В. Б. Арзамасов [и др.] ; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепяхина. – 3-е изд., стер. – М. : Академия, 2011. – 446, [2] с. – (Высшее профессиональное образование).

2. Технология конструкционных материалов : учебник для вузов / А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, А. Ф. Вязов и др. ; под общ. ред. А. М. Дальского. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2005. – 592 с.

3. Перминов, В. П. Материаловедение и технология материалов : учеб. пособие / В. П. Перминов, В. А. Неронов. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 172 с.

4. Ларина, Т. В. Материаловедение и технологии конструкционных материалов : лабораторный практикум / Т. В. Ларина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 150 с.

5. Ларина, Т. В. Материаловедение и технологии конструкционных материалов : учеб.-метод. пособие / Т. В. Ларина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 101 с.

6. Материаловедение и технология металлов : учебник для студентов машиностроит. спец. вузов / Г. И. Фетисов и др. – М. : Высшая школа, 2002. – 638 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Официальный сайт научно-технической библиотеки СГГА. – Режим доступа: <http://lib.ssga.ru/>. – загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система научно-издательского центра «ИНФРА-М». – Режим доступа: <http://znanium.com/>. – загл. с экрана.

3. Электронно-библиотечная система издательства «Лань». – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>. – загл. с экрана.

4. Научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>.
– загл. с экрана.

5. Тексты книг по материаловедению для бесплатного скачивания в форматах .pdf и .djvu. – Режим доступа: <http://www.kodges.ru/>.

Характеристики свойств строительных материалов

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
1.	Истинная плотность	Масса единицы объема в абсолютно плотном состоянии	$\rho = \frac{m}{V_a}$	г/см ³ , кг/м ³	m – масса образца материала, г; V_a – объем в абсолютно плотном состоянии (без пор), см ³
2.	Средняя плотность	Масса единицы объема в естественном состоянии (вместе с порами)	$\rho_m = \frac{m_e}{V_e}$	г/см ³ , кг/м ³	m_e – масса материала в естественном состоянии, г; V_e – объем в естественном состоянии (с порами), см ³
3.	Относительная плотность	Отношение плотности материала к плотности воды	$d = \frac{\rho_m}{\rho_B}$	безразмер. величина	$\rho_B = 1$ г/см ³ – плотность воды
4.	Пористость	Степень заполнения объема материала порами	$\Pi_o = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100\%$	%	$\Pi_o = V_{\Pi} / V_e = (V_e - V_a) / V_e = 1 - V_a / V_e$, где V_{Π} – объем пор. Величина пор: от нескольких ангстрем ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ м) до нескольких миллиметров
5.	Коэффициент плотности	Степень заполнения объема материала твердым веществом	$K_{\text{пл.}} = \frac{\rho_m}{\rho}$	% или безразмер. величина	$\Pi_o + K_{\text{пл.}} = 100\%$ (или 1)

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
6.	Влажность	Содержание влаги в материале в данный момент по отношению к массе сухого материала	$W_M = \frac{m_{\text{вл.}} - m_{\text{сух.}}}{m_{\text{сух.}}} \cdot 100\%$	%	$m_{\text{вл.}}$ – масса материала в состоянии естественной влажности, г; $m_{\text{сух.}}$ – масса материала, высушенного до постоянной массы, г
7.	Гигроскопичность	Способность капиллярно-пористого материала поглощать водяной пар из воздуха			Процесс носит обратимый характер. Высокая гигроскопичность у материалов с развитой внутренней поверхностью: древесина, теплоизоляционные и стеновые материалы
8.	Водопоглощение	Свойство материала поглощать и удерживать воду при непосредственном контакте с ней	$B_M = \frac{m_{\text{нас.}} - m_{\text{сух.}}}{m_{\text{сух.}}} \cdot 100\%$ $B_O = \frac{m_{\text{нас.}} - m_{\text{сух.}}}{V_{\text{сух.}} \cdot \rho_{\text{в}}} \cdot 100\% =$ $= B_M \cdot d \cdot 100\%$	%	B_M – водопоглощение по массе, %; $m_{\text{нас.}}$ – масса насыщенного водой материала, г; $m_{\text{сух.}}$ – масса сухого материала, г; B_O – водопоглощение по объему, %
9.	Коэффициент насыщения пор водой	Отношение водопоглощения по объему к пористости	$K_H = \frac{B_O}{P_O}$	безразмер. величина	K_H косвенно характеризует морозостойкость материала. $K_H = 0 \dots 1$; $K_H = 0$ – поры отсутствуют или все поры замкнутые; $K_H = 1$ – все поры открытые, сообщающиеся

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
10.	Водостойкость, или коэффициент размягчения	Способность материала сохранять прочность в водонасыщенном состоянии	$K_p = \frac{R_{\text{нас.}}}{R_{\text{сух.}}}$	безразмер. величина	K_p – коэффициент размягчения; $R_{\text{нас.}}$ и $R_{\text{сух.}}$ – пределы прочности материала в сухом и водонасыщенном состоянии, МПа; $K_p = 0 \dots 1$. При K_p , равном 0,8 и более, материал считается водостойким
11.	Водопроницаемость	Способность материала пропускать воду под давлением	$K_\phi = \frac{V_B \cdot a}{S(P_1 - P_2)\tau}$	м/с	K_ϕ – коэффициент фильтрации; V_B – объем воды, м ³ ; τ – время, с; S – площадь, м ² ; a – толщина слоя материала, м; $(P_1 - P_2)$ – давление, мм вод. ст.
12.	Водонепроницаемость	Способность материала не пропускать воду под давлением	W2, ..., W12	кгс/см ² , атм	W2, W4 и т.д. – марки материала по водонепроницаемости; 2, ..., 12 – величина одностороннего гидростатического давления, которое выдерживает образец бетона
13.	Паро- и газопроницаемость	Способность материала пропускать через свою толщу водяной пар или газ (например, воздух)	$K_\Pi = \frac{a \cdot V \cdot \rho}{S \cdot \tau \cdot \Delta p}$	кг/(м·с·Па)	K_Π – коэффициент паропроницаемости; a – толщина слоя материала, м; V – объем пара, м ³ ; ρ – плотность пара, кг/м ³ ;

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
					τ – время, с; S – площадь, м ² ; Δp – разность давлений, Па
14.	Морозостойкость	Свойство материала в насыщенном водой состоянии не разрушаться под действием многократного попеременного замораживания и оттаивания	F50, F100 и т.д. $K_F = \frac{R_F}{R_{нас.}}$	циклы	$R_{нас.}, R_F$ – предел прочности при сжатии материала соответственно в насыщенном водой состоянии и после испытания на морозостойкость, МПа (кгс/см ²). F50, F100 – марки материала по морозостойкости. Один цикл: одно замораживание при минус 15...20 °С + одно оттаивание в воде комнатной температуры. Материал выдержал испытания, если потеря прочности $\Delta R \leq 5-25$ % (для разных материалов), $\Delta m \leq 5$ %.
15.	Теплопроводность	Свойство материала передавать тепло через свою толщину от одной поверхности к другой	$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot \Delta t}$	Вт/(м·°С)	Q – количества тепла, Дж; δ – толщина слоя, м; τ – время, с; S – площадь, м ² ; Δt – разность температур, °С

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
16.	Теплоемкость	Свойство материала аккумулировать тепло при нагревании	$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$	кДж/(кг·°С)	m – масса материала, кг
17.	Огнеупорность	Способность материала выдерживать действие высоких температур (свыше 1 580 °С)		°С	Материалы, выдерживающие: $t > 1580$ °С – огнеупорные, $t > 1\ 350$ – $1\ 580$ °С – тугоплавкие, $t >$ менее $1\ 350$ °С – легкоплавкие
18.	Огнестойкость	Свойство материала сопротивляться действию огня в условиях пожара в течение определенного времени		единицы времени	По степени огнестойкости: – несгораемые, – трудносгораемые, – сгораемые
19.	Тепловое расширение	Свойство материала деформироваться при изменении температуры: расширяться при нагревании, сжиматься при охлаждении		1/°С	ТКЛР (ТКОР) – температурный коэффициент линейного (объемного) расширения

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
20.	Прочность	Способность материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними воздействиями	$R_{\text{сж.}} = \frac{F_p}{S_{\text{обр.}}};$ $R_{\text{изг.}} = \frac{3 \cdot F_p \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$	кН/см ² , кгс/см ² , МПа	$R_{\text{сж.}}$ – предел прочности при сжатии; F_p – разрушающее усилие, кН; $S_{\text{обр.}}$ – площадь поперечного сечения стандартного образца, см ² ; $R_{\text{изг.}}$ – предел прочности при изгибе; F_p – разрушающая нагрузка, Н (кгс); l – расстояние между опорами, см; b и h – размеры поперечного сечения образца, см
21.	Упругость	Свойство материала самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешних сил	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l};$ $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$	% или безразмер. величина	ε – относительная деформация; l – первоначальный линейный размер образца; Δl – абсолютная деформация; σ – одноосное напряжение, МПа; E – модуль упругости (модуль Юнга), МПа. Упругая деформация – обратимая
22.	Пластичность	Свойство материала изменять форму и размеры под действием внешних сил,			Пластическая, остаточная деформация – необратимая

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
		не разрушаясь, и сохранять эти изменения после снятия нагрузки			
23.	Хрупкость	Свойство материала под действием нагрузки разрушаться без заметной пластической деформации («внезапное» разрушение)			Для хрупких материалов $R_{сж.}/R_{раст.} = 10...15$ и более, $R_{раст.}$ – предел прочности при растяжении
24.	Удельная прочность (коэффициент конструктивного качества)	Отношение прочности материала к его относительной плотности	$R_{уд.} = K_{КК} = \frac{R_{сж.}}{d}$	МПа	Является характеристикой прочностной эффективности материала. Например: – сталь: $R_{уд.} = \frac{1000}{7,85} = 127 \text{ МПа};$ – стеклопластик: $R_{уд.} = \frac{450}{2} = 225 \text{ МПа}$
25.	Истираемость	Способность материала сопротивляться истирающим воздействиям	$И = \frac{m_1 - m_2}{S}$	г/см ² ; кг/м ²	m_1 и m_2 – массы образца до и после истирания соответственно, г; S – площадь образца, см ²

№ п/п	Наименование свойства или коэффициента	Определение	Формула	Размерность	Пояснения
26.	Твердость	Способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого	$HB = \frac{P}{F}$	МПа, кгс/мм ²	P – нагрузка, кН, кгс; F – площадь отпечатка, мм ² . Твердость каменных материалов оценивают по шкале твердости Мооса в баллах от 1 до 10: самый мягкий – тальк (1), самый твердый – алмаз (10)
27.	Износ	Способность материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и удара	$I_{\text{зн.}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100$	%	m_1 и m_2 – массы образца соответственно до и после испытания, г

Учебное издание

Ларина Татьяна Вячеславовна

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Редактор *Е. М. Федяева*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 12.01.2017. Формат 60 × 84 1/16

Усл. печ. л. 4,5. Тираж 90 экз. Заказ .

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.