

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра строительных материалов

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по дисциплине «Строительные материалы»
студентам всех форм обучения
по направлению подготовки 270800.62 Строительство
и специальности 271101.65 Строительство уникальных зданий и
сооружений

Нижний Новгород

2013

УДК 691

Основные свойства строительных материалов. [Текст]: метод. указания студентам всех форм обучения по направлению 270800.62 Строительство и специальности 271101.65 Строительство уникальных зданий и сооружений. / Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т; сост. Н.И.Ханова, И.В.Конкина – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013 - 36с.

Приведены основные сведения о физико-механических, химических и технологических свойствах строительных материалов: определения, способы измерения и формулы для расчета численных значений этих свойств.

Составители: Н.И.Ханова
И.В.Конкина

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

	Общие сведения	5
1	Физические свойства строительных материалов.....	6
1.1	Параметры состояния и структурные характеристики материалов.....	6
1.1.1	Плотность	6
1.1.2	Пористость	8
1.1.3	Удельный вес.....	9
1.1.4	Удельная поверхность.....	9
1.2	Гидрофизические свойства.....	10
1.2.1	Гигроскопичность	10
1.2.2	Влажность	11
1.2.3	Водопоглощение	11
1.2.4	Водонепроницаемость	12
1.2.5	Паропроницаемость и газопроницаемость.....	13
1.2.6	Водостойкость	13
1.2.7	Морозостойкость	14
1.3	Теплофизические свойства.....	15
1.3.1	Теплопроводность.....	15
1.3.2	Теплоемкость.....	16
1.3.3	Огнестойкость.....	17
1.3.4	Огнеупорность.....	18
1.3.5	Термическая стойкость	18
1.4	Специальные свойства	18
1.4.1	Акустические свойства	18
1.4.2	Радиационная стойкость	19
1.4.3	Долговечность.....	19
2	Механические свойства строительных материалов.....	20

2.1	Прочностные свойства	22
2.1.1	Прочность.....	22
2.1.2	Твердость.....	26
2.1.3	Истираемость.....	27
2.1.4	Ударная вязкость.....	28
2.1.5	Износ.....	28
2.2	Деформативные свойства	28
2.2.1	Упругость.....	29
2.2.2	Пластичность.....	29
2.2.3	Хрупкость.....	29
2.2.4	Ползучесть.....	29
3	Химические свойства строительных материалов	30
4	Технологические свойства строительных материалов....	30
	Вопросы для самоконтроля	32
Приложение А	Наименование десятичных кратных и дольных единиц...	33
Приложение Б	Соотношение различных единиц прочности.....	34
	Список литературы	35

Цель работы: ознакомиться с общими для большинства строительных материалов свойствами и стандартными методиками их определения.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Свойство – это качественная, отличительная характеристика вещества, материала или изделия. Совокупность различных свойств предопределяет назначение строительного материала и рациональные области его применения. Только при правильной оценке качества материалов возможно их грамотное использование, могут быть созданы экономичные, прочные и долговечные конструкции зданий и сооружений.

Все свойства строительных материалов можно объединить в группы:

- физические;
- механические;
- химические;
- технологические.

Количественно свойства определяются при испытании и, как правило, выражаются в физических величинах в соответствии с действующими стандартами.

1 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 Параметры состояния и структурные характеристики материалов

Физические свойства материала характеризуют какую-либо особенность физического состояния материала или способность сопротивляться внешнему воздействию окружающей среды.

1.1.1 **Плотность** является основной характеристикой физического состояния материала и представляет собой величину, равную отношению массы вещества к занимаемому им объему. Так как строительные материалы обладают различной микро- и макроструктурой, в материаловедении различают истинную, среднюю и насыпную плотности.

Истинная плотность (ρ) – физическая величина, равная массе единицы объема вещества материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор и пустот. Определяют истинную плотность в кг/м³ по формуле

$$\rho = \frac{m}{V_a}, \quad (1.1)$$

где m – масса материала, кг;

V_a – абсолютный объем материала без учета пор и пустот, м³.

Истинная плотность характеризуется пределом отношения массы к объему, когда объем стягивается в точку, в которой определяется плотность тела или вещества (т.е. без учета пор и пустот).

Истинная плотность металлов, стекла, а также гранита, базальта и других горных пород, практически, соответствует их плотности в естественном состоянии, так как объем внутренних пор у них весьма мал.

Стандартный метод определения истинной плотности предусматривает измельчение предварительно высушенной пробы в порошок, а абсолютный объем (V_a) навески (m) порошка измеряют с помощью специальных приборов.

Средняя плотность (ρ_m) – физическая величина, определяемая отношением массы материала или изделия ко всему занимаемому им объему, включая имеющиеся в них поры. Определяют среднюю плотность в кг/м³ по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad (1.2)$$

где m – масса материала (изделия), кг;

V – объем материала (изделия) с учетом пор и пустот, м³.

В таблице 1.1 приведены значения плотностей некоторых строительных материалов.

Таблица 1.1 – Значения плотностей для некоторых строительных материалов [4].

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	
	истинная	средняя
Сталь	7800...7900	7800...7850
Гранит	2750...2800	2600...2800
Известняк (плотный)	2400...2600	1800...2400
Стекло строительное	2650...2700	2600...2800
Керамический кирпич	2600...2700	1600...1900
Бетон тяжелый	2700...2900	2000...2500
Древесина сосновая	1500...1550	500...600
Пластмассы	1000...2200	100...1200

Для некоторых строительных материалов (легких бетонов, теплоизоляционных материалов) устанавливаются марки по средней плотности. Например, согласно ГОСТ 25485 – 89 [3], установлены марки для ячеистого бетона: D300, D 350, D400 D500, D600, D700, D800, D900, D1000, D1100, D1200. Так, например, марка по средней плотности D700 характеризуется численным значением средней плотности в в килограммах

на кубометр материала в сухом состоянии, не превышающим марочное значение, т.е. 700 кг/м^3 .

Для сыпучих материалов (цемент, песок, щебень, гравий и др.) определяют насыпную плотность. В объеме таких материалов включают не только поры в самом материале, но и пустоты между зернами или кусками материала.

Насыпная плотность (ρ_n) – отношение массы зернистых или порошкообразных материалов ко всему занимаемому ими объему, включая пространства между частицами, определяется в кг/м^3 по формуле

$$\rho_n = \frac{m}{V}, \quad (1.3)$$

где m – масса зернистого или порошкообразного материала, кг;

V – объем, занимаемый материалом в естественном состоянии с учетом межзерновых пустот, м^3 .

Насыпная плотность сыпучих материалов всегда меньше их истинной плотности. Значения насыпной плотности для некоторых строительных материалов приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Значения насыпной плотности для сыпучих материалов

Наименование материала	Насыпная плотность, кг/м^3
Щебень гранитный	1400...1600
Песок кварцевый	1400...1700
Портландцемент	1000...1350

1.1.2 Пористость ($V_{\text{пор}}$) – это степень заполнения объема материала порами. Пористость определяется в процентах по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (1.4)$$

где ρ_m – средняя плотность материала (изделия), кг/м^3 ;

ρ – истинная плотность материала (изделия), кг/м^3 .

Пористость различных строительных материалов колеблется в значительных пределах и составляет для гранита (0...4) % керамического кирпича (25...30) %, тяжелого бетона (5...10) %, газобетона (55...85) %, пенопласта (90...99) %, а пористость стекла и металла равна нулю.

Большое влияние на свойства материала оказывают не только величина пористости, но и размер, и характер пор: мелкие (0,1 мм) или крупные (от 0,1 до 2 мм), замкнутые или сообщающиеся. Крупные незамкнутые или мелкие замкнутые поры, равномерно распределенные по всему объему материала, придают материалу теплоизоляционные свойства.

Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение и ухудшают морозостойкость материала. В звукопоглощающих материалах умышленно создается открытая пористость, необходимая для поглощения звука.

Более крупные поры между зернами сыпучих материалов называют пустотами. Характеристикой таких материалов служит **пустотность** ($V_{пуст}$), которую рассчитывают в процентах по формуле

$$V_{пуст} = \frac{V_{пуст}}{V_{общ}} \cdot 100, \quad (1.5)$$

где $V_{пуст}$ – объем материала, занятый пустотами, м³;

$V_{общ}$ – общий объем материала, м³.

1.1.3 Удельный вес (γ) – это отношение веса тела или материала к объему и, следовательно, зависит от ускорения свободного падения. Удельный вес выражается в ньютонах на кубический метр (Н/ м³) и рассчитывается по формуле

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (1.6)$$

где ρ – плотность материала с учетом пустот, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с.

1.1.4 Сыпучие материалы характеризуются **удельной поверхностью** – суммарной поверхностью зерен. Массовую удельную поверхность S_m выражают в метрах (сантиметрах) квадратных на 1 кг (г) материала ($\text{м}^2/\text{кг}$ или $\text{см}^2/\text{г}$), а объемную удельную поверхность S_v – в квадратных метрах на кубометр или в квадратных сантиметрах на кубический сантиметр ($\text{см}^2/\text{см}^3$ или $\text{м}^2/\text{м}^3$).

Удельная поверхность портландцемента составляет 2500–3000 $\text{см}^2/\text{г}$; она является показателем тонкости помола цемента. Определяют удельную поверхность с помощью специального прибора – поверхностемера [4].

1.2 Гидрофизические свойства

1.2.1 **Гигроскопичность** – способность материалов поглощать влагу из воздуха или паровоздушной среды. Поглощение влаги из воздуха обусловлено полимолекулярной адсорбцией водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсацией. Этот процесс является обратимым.

Гигроскопичность зависит от химического состава материала и характера его пористости. Одни материалы энергично притягивают своей поверхностью молекулы воды (их называют гидрофильными), другие отталкивают воду (их относят к гидрофобным). Последние стойко сопротивляются действию водной среды. Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры и капилляры, оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые.

Гигроскопичность материала повышается при увеличении относительной влажности и снижении температуры воздуха.

За характеристику гигроскопичности принято отношение максимальной массы поглощенной влаги (при относительной влажности воздуха равной 100 % и температуре +20 °С) к массе сухого материала [4].

Гигроскопичность отрицательно сказывается на свойствах строительных материалов. Так, цемент при хранении под влиянием влаги

воздуха гидратируется и комкуется, при этом снижается его марка по прочности. Древесина от влаги разбухает, коробится.

1.2.2 Влажность (W) - процентное содержание влаги (по массе) в материале при данных условиях. Влажность зависит как от свойств самого материала (пористости, гигроскопичности), так и от окружающей его среды (влажность воздуха, наличие контакта с водой). Влажность учитывают при подборе состава бетонов, транспортировке, хранении и приемке материалов по массе. Она влияет на прочность, теплопроводность, устойчивость к гниению и некоторые другие свойства материалов.

Различают абсолютную (W_a) и относительную влажность (W_o), которые в процентах определяют по формулам

$$W_a = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100, \quad (1.7)$$

$$W_o = \frac{m_B - m_C}{m_B} \cdot 100, \quad (1.8)$$

где m_B – масса влажного материала, кг;

m_C – масса материала, высушенного до постоянной массы, кг.

В строительном материаловедении чаще используют понятие абсолютной влажности.

1.2.3 Водопоглощение ($W_{\text{погл}}$) – способность материала впитывать воду и удерживать ее.

Водопоглощение пористых материалов (бетонов, кирпичей и др.) определяют по стандартным методикам, выдерживая образцы определенное время в воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Различают водопоглощение материала по массе и по объему. Водопоглощение по массе определяется в процентах по формуле

$$W_m = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100, \quad (1.9)$$

Водопоглощение по объему определяется в процентах по формуле

$$W_V = \frac{V_B}{V} = \frac{(m_B - m_C)}{V \cdot \rho_B} = \frac{(m_B - m_C)}{\rho_B} \cdot \frac{\rho_m}{m_C} = W_{\text{погл}} \cdot \frac{\rho_m}{\rho_B}, \quad (1.10)$$

где m_B – масса материала в насыщенном водой состоянии, кг;

m_C – масса высушенного образца, кг;

V – объем материала в сухом состоянии, м³;

V_e – объем воды, поглощенной материалом, м³;

ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³;

ρ_B – плотность воды, равная 1000 кг/м³.

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах. Например, массовое водопоглощение керамических плиток для полов не выше 4 %, керамического кирпича – (8...20) %, тяжелого бетона – (2...3) %, гранита – (0,3...0,8) %, а пористых теплоизоляционных материалов может превышать 100%.

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства: увеличивает среднюю плотность и теплопроводность, понижает прочность.

1.2.4 Водонепроницаемость – свойство материала не пропускать воду под давлением. В основном на водонепроницаемость испытывают гидротехнические бетоны для строительства плотин, мостов, фундаментов, резервуаров и т.д. К водонепроницаемым материалам относятся сталь, стекло, битум. Также высокой водонепроницаемостью отличаются гидроизоляционные, герметизирующие материалы.

Водонепроницаемость материала, например, бетона, характеризуется маркой W , обозначающей максимальное одностороннее давление воды в мегапаскалях, умноженное на десять, при котором бетонный образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания [6].

Испытание на водонепроницаемость бетонов на гидравлических вяжущих производится двумя методиками: по «мокрому пятну» или по коэффициенту фильтрации на специальных цилиндрических образцах высотой 30, 50 и 100 мм с диаметром 100мм.

При определении водонепроницаемости методом «по мокрому пятну» бетонные образцы устанавливаются в гнездах специальной установки и надежно закрепляются. К нижней торцевой поверхности образца подают воду и повышают ее давление ступенями по 0,2 МПа в течение 1...5 минут и выдерживают на каждой ступени определенное время, в зависимости от высоты образца, например, при высоте 150 мм – 16 часов, 30 мм – 4 часа. Испытание проводят до тех пор, пока на верхней торцевой поверхности образца не появятся признаки фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна. Марку бетона по водонепроницаемости принимают по таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Марки бетона по водонепроницаемости

Водонепроницаемость серии образцов, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Марка бетона по водонепроницаемости	W2	W4	W6	W8	W10	W12	W14	W16	W18	W20

1.2.5 Паропроницаемость и газопроницаемость – способность материала пропускать водяной пар или газы (воздух) при перепаде давлений.

Эти свойства зависят от размеров и вида пор и весьма зависят от структуры изделия. Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости, численно равным количеству водяного пара, проникающего через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1с, при разности парциальных давлений 133,3 Па. Аналогичным коэффициентом оценивается и газопроницаемость (воздухопроницаемость).

1.2.6 Водостойкость – способность материала сохранять свою прочность после воздействия на него воды. Результатом такого воздействия может быть снижение прочности материала, связанное с частичным разрушением структуры вследствие разрыва наиболее слабых химических связей, деформации ее в результате процессов набухания. Критерием водостойкости считают 20 % снижение прочности в результате

водонасыщения материала. Количественно водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения, который определяется по формуле

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}, \quad (1.13)$$

где $R_{\text{нас}}$ и $R_{\text{сух}}$ - пределы прочности при сжатии соответственно сухих и водонасыщенных образцов материала, МПа.

Коэффициент размягчения для разных материалов колеблется от 0 (необожженные глиняные материалы) до 1 (стекло, сталь, битум). Материалы с коэффициентом размягчения не менее 0,8 относят к водостойким. Их разрешается использовать в строительных конструкциях, находящихся в воде и в местах с повышенной влажностью. К ним относятся металлы, гранит, большинство бетонов, к неводостойким – материалы на основе воздушной извести, гипсовых вяжущих.

1.2.7 Морозостойкость – свойство насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности.

Замерзание воды, заполняющей поры материала, сопровождается увеличением ее объема примерно на 9 %, в результате чего возникает давление на стенки пор, приводящее к разрушению материала.

Морозостойкость имеет большое значение для стеновых материалов, систематически подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, а также для материалов, применяемых в фундаментах и кровельных покрытиях.

Материалы на морозостойкость испытывают в лаборатории в холодильных камерах путем замораживания насыщенных водой образцов установленной формы и размеров (бетонные кубы, кирпич и т.п.) при температуре минус (15... 17) °С и последующего их оттаивания в воде при температуре около 20 °С. Материал признают морозостойким, если после заданного числа циклов замораживания и оттаивания потеря в массе

образцов в результате выкрашивания и расслаивания не превышает 5 %, и прочность снижается не более чем на 25 % [7, 8, 9].

По числу выдерживаемых циклов попеременного замораживания и оттаивания (степени морозостойкости) материалы подразделяют на марки F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200 и более. К строительным материалам в зависимости от вида конструкции и характера работы сооружения предъявляют различные требования по морозостойкости. Так, морозостойкость керамического кирпича должна быть не менее 15 циклов.

1.3 Теплофизические свойства

Свойства материалов, связанные с изменением температуры, относят к теплофизическим. Они важны для теплоизоляционных и жаростойких материалов, для материалов ограждающих конструкций и изделий, твердеющих при тепловой обработке.

1.3.1. Теплопроводность – свойство материала передавать через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях. Это свойство имеет важное значение для строительных материалов, применяемых при строительстве ограждающих конструкций для теплоизоляции. Теплопроводность (λ) характеризуется количеством тепла, которое способен пропустить материал через 1 м^2 поверхности при толщине материала 1 м при разности температур на противоположных плоско-параллельных поверхностях 1°C (К). Единица измерения теплопроводности – ватт, деленный на произведение метр на градус или Кельвин ($\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) или $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Теплопроводность материала зависит от многих факторов: природы материала, его строения, влажности, а также от средней температуры, при которой происходит передача теплоты.

Материалы слоистого или волокнистого строения часто имеют различную теплопроводность в разных направлениях (у древесины

теплопроводность вдоль волокон в 2 раза больше, чем поперек), а кристаллические материалы более теплопроводны, чем аморфные.

Увеличение пористости материала, создание в материале мелких закрытых пор являются основными факторами уменьшения теплопроводности.

Теплопроводность теплоизоляционных материалов не должна превышать $0,175 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$.

Влажные материалы более теплопроводны, чем сухие. Объясняется это тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. При замерзании воды в порах материала теплопроводность еще более увеличивается, т.к. лед в 4 раза теплопроводнее воды. При повышении температуры теплопроводность большинства материалов возрастает. Теплопроводность некоторых материалов приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Значения теплопроводности для некоторых строительных материалов в сухом состоянии

Наименование материала	Теплопроводность, Вт/ (м·°С)
Сталь	50...60
Гранит	2,9...3,3
Известняк	0,52...0,98
Бетон тяжелый	1,28...1,55
Бетон легкий	0,35...0,8
Пенобетон	0,12...0,15
Кварцевый песок	7,71
Древесина	0,2...0,4
Минеральная вата	0,045...0,05
Пенополистирол	0,033...0,050

1.3.2. **Теплоемкость** – свойство материала поглощать при нагревании определенное количество теплоты и выделять ее при охлаждении. Материалы с высокой теплоемкостью могут выделять больше

теплоты при последующем охлаждении. Поэтому использование для стен, пола, перегородок и других частей помещения материалов с повышенной теплоёмкостью позволит сохранить длительное время устойчивую температуру в комнате.

Показателем теплоемкости служит удельная теплоемкость (С), равная количеству теплоты (Дж), необходимой для нагревания 1 кг материала на 1⁰С. Строительные материалы имеют удельную теплоемкость меньше, чем у воды, которая обладает наибольшей теплоемкостью – 4,2 кДж/(кг·⁰С). Например, удельная теплоемкость искусственных каменных материалов (0,75...0,92) кДж/(кг·⁰С), древесины – (2,4...2,7) кДж/(кг·⁰С), стали – 0,48 кДж/(кг·⁰С). Поэтому с увлажнением материалов их теплоемкость возрастает, но вместе с тем возрастает и теплопроводность.

Теплоемкость материалов учитывают при расчетах теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, подогрева составляющих бетона и раствора для зимних работ, а также при расчете печей.

1.3.3 Огнестойкость – способность материала сопротивляться действию открытого пламени в течение определенного времени без ухудшения свойств. Она зависит от сгораемости материала, т.е. способности воспламеняться и гореть. По степени огнестойкости строительные материалы делят на несгораемые, трудносгораемые и сгораемые.

Несгораемые материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К этим материалам относят природные каменные материалы, кирпич, бетон, сталь. *Трудносгораемые* материалы под действием огня с трудом воспламеняются, тлеют или обугливаются, но после удаления источника огня их горение и тление прекращаются. Примером таких материалов могут служить древесно-цементный материал фибролит и асфальтовый бетон. *Сгораемые* материалы под воздействием огня или высокой

температуры воспламеняются и продолжают гореть после удаления источника огня. К этим материалам в первую очередь следует отнести дерево, битум, рубероид, смолы и др. Их необходимо защищать от возгорания. Для этой цели используют антипирены, которые вводят в состав материалов или используют для пропитки.

1.3.4 Огнеупорностью называют свойство материала выдерживать воздействие высокой температуры (1580 °С и выше), не расплавляясь и не деформируясь в течение определенного времени. По степени огнеупорности материалы делят на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие.

Огнеупорные материалы способны выдерживать продолжительное воздействие температуры свыше 1580 °С. Их применяют для внутренней облицовки (футеровки) промышленных печей. К ним относятся шамотный кирпич, бетоны на глиноземистом цементе и жидком стекле. *Тугоплавкие* материалы выдерживают температуру от 1350 до 1580°С (гжельский кирпич для кладки печей). *Легкоплавкие* материалы размягчаются при температуре ниже 1350 °С (обыкновенный глиняный кирпич).

1.3.5 Термическая стойкость материала характеризует его способность противостоять, не разрушаясь, колебаниям температуры при нагревании или охлаждении. Термическая стойкость зависит от степени однородности материала, коэффициента термического расширения составляющих его частей. Чем меньше коэффициент термического расширения, тем выше термическая стойкость материала. К термически нестойким материалам можно отнести обычное строительное стекло, гранит

1.4 Специальные свойства

1.4.1 Акустические свойства – способность материала проводить сквозь свою толщу звуки (звукопроводность) или отражать падающий на него звук (звукопоглощение).

Звукопроводность зависит от массы материала и его строения. Материал тем меньше проводит звук, чем больше его масса. Плохо проводят звук пористые и волокнистые материалы, так как звуковая энергия поглощается и рассеивается развитой поверхностью материала.

Звукопоглощение зависит от характера поверхности материала. Материалы с гладкой поверхностью отражают большую часть падающего на них звука, поэтому в помещении с гладкими стенами из-за многократного отражения от них звука создается постоянный шум. Если же поверхность материала имеет открытую пористость, то звуковые колебания, входя в поры, поглощаются материалом, а не отражаются. К эффективным звукопоглощающим материалам можно отнести минераловатные, стекловатные и древесно-волокнистые плиты, сборные щиты с перфорированным покрытием.

1.4.2 Радиационная стойкость – способность материала сохранять свою структуру и физико-механические характеристики после воздействия ионизирующих излучений. Так, у стали уменьшается пластичность, а у керамических материалов снижаются плотность и теплопроводность, у природных кристаллических материалов проявляются признаки аморфизации структуры.

Для защиты от нейтронного потока применяют материалы, содержащие в большом количестве связанную воду, например лимонитовую руду (гидроксид железа). Для защиты от гамма-излучения используют материалы с высокой плотностью (свинец, особо тяжелые бетоны). Уменьшить интенсивность проникновения нейтронного излучения можно путем введения в защитный материал специальных добавок – бора, кадмия, лития)[3].

1.4.3 Долговечность – способность материала сопротивляться комплексному воздействию атмосферных, механических, физических, химических, биологических факторов в условиях эксплуатации

материалов, т.е. способность сохранять неизменными свою структуру и свойства или даже улучшать их со временем.

2 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушающему воздействию внешних сил. Они делятся на прочностные и деформативные. К прочностным относятся - прочность, твердость, истираемость, сопротивление удару, износ; к деформативным - упругость, пластичность, хрупкость, ползучесть, усадка.

При определении механических свойств строительных материалов используют следующие понятия и характеристики.

Напряжение. Внешние факторы (нагрузки, температура и др.), действующие на материальное тело, стремятся деформировать его. В ответ на их действие в материале возникают внутренние силы, препятствующие деформации материала, в результате чего вся система остается в равновесии. Мерой этих внутренних сил служит напряжение σ - сила, приходящаяся на единицу сечения материала (Н/ м²).

Деформация. Деформация – изменение формы и (или) размеров тела без нарушения его целостности. Упругие деформации после снятия нагрузки исчезают, т.е. тело принимает свои исходные параметры, а пластические деформации сохраняются и после снятия нагрузки – это необратимые (остаточные) деформации. Упругие деформации предшествуют пластическим.

За характеристику деформации принимают относительное удлинение ε (или сужение) тела или его элемента, которое определяется в процентах по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l}{l} \cdot 100,$$

где l – первоначальный линейный размер, мм;

l_1 – длина элемента после деформации, мм.

Деформации можно разделить на собственные – **усадку и расширение**, возникающие под действием физико-химических процессов, протекающих в материале; деформации от действия нагрузки (причем различают деформации от кратковременного действия нагрузки и от длительного действия); температурные деформации.

Усадка строительного материала, т.е. уменьшение его объема, играет важную роль в технологии производства керамических изделий, а также бетонов на неорганических вяжущих.

Расширение строительного материала, т.е. увеличение его объема, проявляется при определенных физико-механических условиях, например, при взаимодействии воздушной извести или гипсового вяжущего с водой и их дальнейшем твердении.

Модуль упругости. Между напряжением и деформацией упругих материалов существует прямая пропорциональная зависимость $\sigma = E \cdot \varepsilon$, известная под названием закона Гука. Коэффициент пропорциональности E , характеризующий меру жесткости материала, т.е. способность сопротивляться упругим деформациям, называют модулем упругости или модулем Юнга. Чем ниже модуль упругости, тем легче деформируется материал (например, модуль упругости стали 200 МПа, тяжелого бетона 300 МПа, а резины 0,01 МПа).

Коэффициент Пуассона. Совместно с деформацией растяжения наблюдается уменьшение поперечного сечения образца, характеристикой чего служит ε_1 – относительная поперечная деформация. Связь между упругими продольными и поперечными деформациями определяется коэффициентом Пуассона (или коэффициентом поперечного сжатия) γ :

$$\gamma = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon},$$

где ε_1 – относительное поперечное сжатие;

ε – относительное удлинение.

Наибольшее теоретическое значение $\gamma = 0,5$, однако коэффициент Пуассона реальных материалов значительно отличается от теоретических значений, например, для бетона $\gamma = 0,17 \dots 0,2$, для полиэтилена $\gamma = 0,40$.

2.1 Прочностные свойства

2.1.1 Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок. Под воздействием различных нагрузок материалы в зданиях и сооружениях испытывают различные внутренние напряжения. Прочность является основным свойством большинства строительных материалов, от ее значения зависит величина нагрузки, которую может воспринимать данный элемент при заданном сечении.

Строительные материалы в зависимости от происхождения и структуры по-разному противостоят различным напряжениям. Так, материалы минерального происхождения (природные камни, кирпич, бетон и др.) хорошо сопротивляются сжатию, значительно хуже – срезу и еще хуже – растяжению, поэтому их используют главным образом в конструкциях, работающих на сжатие. Другие строительные материалы (металл, древесина) хорошо работают на сжатие, изгиб и растяжение и др., поэтому их с успехом применяют в различных конструкциях (балки, фермы и т.п.), работающих на изгиб.

Прочность материала характеризуется пределом прочности (при сжатии, изгибе и растяжении). *Пределом прочности* называют напряжение, соответствующее нагрузке, при которой происходит разрушение образца материала.

Предел прочности при осевом сжатии ($R_{сж}$) вычисляют в МПа по формуле

$$R_{сж} = F/A, \quad (2.1)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь сечения образца, прилегающего к прессу, мм².

Предел прочности при изгибе ($R_{\text{изг}}$) при одном сосредоточенном грузе и образце-балке прямоугольного сечения вычисляют в МПа по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \quad (2.2)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

l – расстояние между опорами, мм;

b – ширина сечения образца, мм;

h – высота сечения образца, мм.

Предел прочности при осевом растяжении ($R_{\text{раст}}$) или временное сопротивление разрыву вычисляют в МПа по формуле

$$R_{\text{раст}} = F/A, \quad (2.3)$$

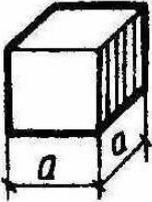
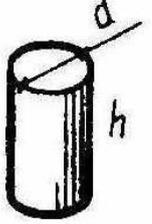
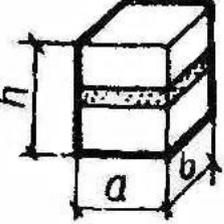
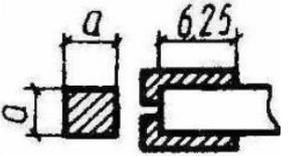
где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел прочности материала определяют опытным путем, испытывая в лаборатории на гидравлических прессах или разрывных машинах специально изготовленные образцы. Для испытания материалов на сжатие образцы изготавливают в виде куба, призмы или цилиндра, на растяжение – в виде круглых стержней или полос, а на изгиб – в виде балочек. Форма и размеры образцов должны строго соответствовать требованиям стандартов на каждый вид материала [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

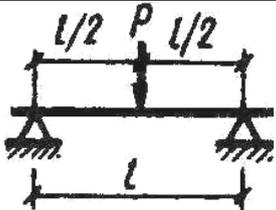
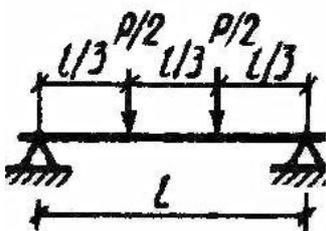
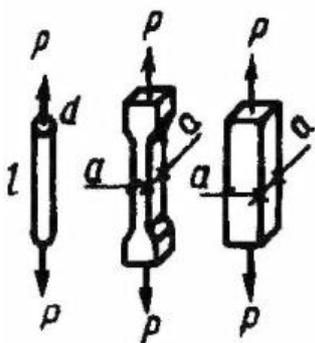
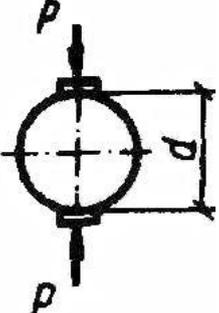
В таблице 2.1. приведены стандартные образцы, применяемые для определения предела прочности при сжатии наиболее распространенных строительных материалов, а также расчетные формулы.

Таблица 2.1 – Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R = F / a^2$	Бетон Раствор Природный камень	$a = 15$ $a = 7,07$ $a = 5; 10, 15, 20$
Цилиндр		$R = 4 F / \pi d^2$	Бетон Природный камень	$d = h = 5; 7; 10; 15; 20.$
Призма		$R_{пр} = F / a^2$	Бетон Древесина	$a = 10; 15; 20;$ $h = 40; 60; 80$ $a = 2; h = 3$
Составной из двух половинок кирпича		$R = F / A$	Кирпич	$a = 12; b = 12;$ $h = 14$
Половина призмы из цементно-песчаного раствора		$R = F / A$	Цемент	$a = 4; A = 25 \text{ см}^2$

В таблице 2.2. приведены образцы и схемы стандартных методов определения предела прочности при изгибе и растяжении наиболее распространенных строительных материалов.

Таблица 2.2 – Схемы стандартных методов определения прочности при изгибе и при растяжении

Образец	Схема испытаний	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Испытание на изгиб				
Призма, кирпич		При изгибе $R_{и} = 3F / (2bh^2)$	Цемент Кирпич	4x4x16 25x12x6,5
Призма		$R_{и} = F / (bh^2)$	Бетон Древесина	15x15x60 2x2x30
Испытание на растяжение				
Стержень «восьмерка», призма		При растяжении $R_p = 4F / (pd^2)$ $R_p = F / a^2$	Бетон Сталь	5x5x50 10x10x80 $d_0=1; l_0=5; l \geq 10d$
Цилиндр		При растяжении $R_p = 2F / (\pi dl)$	Бетон	d=15

В таблице 2.3. приведены пределы прочности некоторых строительных материалов при сжатии, изгибе и растяжении.

Часто для оценки эффективности конструктивных строительных материалов используют коэффициент конструктивного качества ($K_{кк}$) (удельную прочность), определяемый путем деления предела прочности при сжатии на среднюю плотность материала. Наиболее эффективными

являются строительные материалы, имеющие наименьшую среднюю плотность и наиболее высокую прочность.

Таблица 2.3 – Значения пределов прочности некоторых строительных материалов.

Материал	Предел прочности, МПа при		
	сжатию	изгибе	растяжении
Гранит	150...250	-	3...5
Бетон тяжелый	10...60	2...8	1...4
Кирпич керамический	7,5...30	1,8...4,4	-
Стекло строительное	600...1000	-	12...20
Сталь	210...600	-	250...3000
Древесина (вдоль волокон)	40...60	70...110	65...160
Стеклопластик	90...150	130...250	60...120

2.1.2 **Твердостью** называют свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого материала. Это свойство имеет большое значение для материалов, используемых в полах и дорожных покрытиях. Кроме того, твердость материала влияет на трудоемкость его обработки.

Существует несколько способов определения твердости материалов. Твердость древесины, бетона и других материалов оценивают по отпечатку при вдавливании в образцы стальной шарик или по методу пластических деформаций путем удара. Твердость металлов определяют, вдавливая в него под определенной нагрузкой стальной шарик, алмазный или алмазную пирамидку, твердость резины, кровельных материалов – по методу упругого отскока бойка с наконечником (метод Шора), твердость линолеума – вдавливанием стального стержня под небольшой нагрузкой [17, 18, 19, 20]. Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости (шкала Мооса), (таблица 2.4), в которой десять специально подобранных минералов расположены в такой

последовательности, когда следующий по порядку минерал оставляет черту (царапину) на предыдущем, а сам им не прочерчивается. Например, если испытуемый материал чертится апатитом, а сам оставляет черту (царапину) на плавиковом шпате, то его твердость соответствует 4,5.

Таблица 2.4 - Шкала твердости минералов по Моосу

Показатель твердости	Минералы	Характеристика твердости
1	Тальк или мел	Легко чистится ногтем
2	Каменная соль или гипс	Ноготь оставляет черту
3	Кальцит или ангидрит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиковый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим давлением
5	Апатит	Чертится стальным ножом при сильном нажиме, стекло не чертит
6	Ортоклаз (полевой шпат)	Слегка царапает стекло, стальной нож черты не оставляет
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальной нож черты не оставляет
8	Топаз	
9	Корунд	
10	Алмаз	

2.1.3 Истираемостью называют свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Оно оценивается потерей массы материала, отнесенной к единице площади истирания. Сопротивление истиранию – одно из основных требований к материалам, используемым для полов, лестничных маршей и площадок.

Истираемость строительных материалов определяют специальными приборами, конструкция которых зависит от вида материала [20, 21]. Так, полимерные материалы для полов испытывают на машине с помощью шлифовальной шкурки, а каменные материалы (бетоны, растворы, природный камень, керамическую плитку) на кругах истирания с использованием шлифовальных порошков или кварцевого песка.

2.1.4 Ударной вязкостью (ударной или динамической прочностью) называют свойство материала сопротивляться разрушению под действием ударных нагрузок. В процессе эксплуатации зданий и сооружений материалы в некоторых конструкциях подвергаются динамическим (ударным) нагрузкам (например, в фундаментах кузнечных молотов, бункерах, дорожных покрытиях). Обычно плохо сопротивляются ударным нагрузкам хрупкие материалы.

Сопротивление удару оценивается пределом прочности при ударе (Дж/м^3), характеризующимся количеством работы, затраченной на разрушение образца, отнесенной к единице объема материала. Испытания производят на специальном приборе – копре.

2.1.5 Износом называют разрушение материала при совместном действии истирания и удара. Износ определяют на образцах материалов, которые испытывают во вращающемся барабане со стальными шарами или без них. Показателем износа служит потеря массы пробы материала (%) в результате проведенного испытания [4]. Износу подвергаются материалы для дорожных покрытий, конструкции для транспортировки жидкостей, содержащих абразивные материалы, бункера и др.

2.2 Деформативные свойства

Основные деформационные свойства, возникающие под действием нагрузки: упругость, пластичность, хрупкость и ползучесть.

2.2.1 Упругостью называют свойство материала деформироваться под нагрузкой и принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Наибольшее напряжение, при котором материал еще обладает упругостью, называется пределом упругости. Упругость является положительным свойством строительных материалов. В качестве примера упругих материалов можно назвать резину, сталь, древесину.

2.2.2 Пластичностью называют свойство материала изменять под нагрузкой форму и размеры без образования разрывов и трещин и сохранять изменившуюся форму и размеры после удаления нагрузки. Это свойство противоположно упругости. Примером пластичного материала служат свинец, глиняное тесто, нагретый битум.

В природе нет абсолютно упругих и абсолютно пластичных материалов. Любой материал проявляет в той или иной степени и упругие и пластические свойства.

Наиболее желательны для несущих конструкций являются материалы, которые наряду с большой упругостью перед разрушением обладают высокой пластичностью. Разрушение в подобных материалах не будет происходить внезапно.

2.2.3 Хрупкостью называют свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил при незначительной деформации. К хрупким материалам относят природные камни, керамические материалы, стекло, чугун, бетон и т.п.

2.2.4 Ползучесть – это увеличение деформации материала под действием постоянной нагрузки. Наиболее большой ползучестью обладают материалы и изделия из полимеров, изделия из ячеистого бетона на цементном вяжущем и др.

Определение деформации ползучести осуществляется на специальных приборах путем испытаний образцов по специальной методике [22].

3 ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Химические свойства характеризуют способность материала вступать в химическое взаимодействие с веществами внешней среды, в которой он находится, или сохранять свой состав и структуру в условиях инертной окружающей среды. Химические свойства материала весьма разнообразны, основные из них – химическая и коррозионная стойкость.

Химическая стойкость – способность материалов противостоять разрушающему влиянию щелочей, кислот, растворенных в воде солей и газов и других агрессивных сред.

Коррозионная стойкость – свойство материалов сопротивляться коррозионному воздействию среды. Коррозионная стойкость материалов зависит от их состава, структуры, а так же от внешних факторов: pH среды, температуры и ее перепадов, от интенсивности воздействия среды.

Некоторые строительные материалы не обладают этими свойствами. Так, почти все цементы плохо сопротивляются действию кислот, битумы сравнительно быстро разрушаются под воздействием концентрированных растворов щелочей, древесина нестойка к действию тех и других. Лучше сопротивляются воздействию кислот и щелочей некоторые виды природных каменных материалов (диабаз, андезит, базальт), плотная керамика, а также большинство материалов из пластмасс.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Технологические свойства характеризуют способность материала к восприятию некоторых технологических операций, изменяющих состояние материала, структуру его поверхности, придающих нужную форму и размеры. Такие технологические свойства, как дробимость, распиливаемость, шлифуемость, свариваемость и т.п. имеют важное практическое значение, ибо от них зависит качество и стоимость готовых

изделий и конструкций. Для оценки технологических свойств некоторых материалов разработаны числовые показатели и методы их определения (например, дробимость каменных материалов, удобоукладываемость бетонной смеси, укрывистость лакокрасочных составов). Для большинства же материалов установлены лишь качественные характеристики технологических свойств.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие группы подразделяются свойства строительных материалов?
2. Назовите физические свойства материалов, характеризующих их строение?
3. В чем различие между истиной и средней плотностью материала?
4. На какие свойства строительных материалов оказывает влияние пористость?
5. Какие строительные материалы обладают гигроскопичностью?
6. Что такое влажность и водопоглощение?
7. Что такое морозостойкость и каковы методы ее определения?
8. Каков физический смысл теплопроводности, от чего она зависит и какова ее размерность?
9. Назвать единицы измерения предела прочности при сжатии материалов.
10. Какие строительные материалы испытывают на разрыв при растяжении?
11. Какие виды образцов применяют для испытания материалов на сжатие?
12. Какие материалы называют пластичными?
13. Назвать деформативные свойства строительных материалов.
14. Какие материалы мгновенно разрушаются под нагрузкой?
15. Какими свойствами должны обладать материалы, применяемые для защиты от гамма-излучений?
16. Перечислите химические свойства строительных материалов.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Наименование десятичных
кратных и дольных единиц

Таблица А.1

Кратность	Наименование	Обозначение
10^{12}	тера	Т
10^9	гига	Г
10^6	мега	М
10^3	кило	к
10^2	гекто	г
10^1	дека	да
10^{-1}	деци	д
10^{-2}	санти	с
10^{-3}	милли	м
10^{-6}	микро	мк
10^{-9}	нано	н
10^{-12}	пико	п
10^{-15}	фемто	ф
10^{-18}	атто	а

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Соотношение различных единиц прочности

$$1 \text{ кгс} \approx 10 \text{ Н}$$

$$1 \text{ Н} \approx 0,1 \text{ кгс}$$

$$1 \text{ кН} \approx 100 \text{ кгс}$$

$$1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 10 \text{ МПа}$$

$$1 \text{ Па} = 10^{-6} \text{ МПа}$$

$$1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$$

$$1 \text{ Н/мм}^2 = 1 \text{ МПа}$$

$$1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
2. СН 528-80 Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве. – М.: Стройиздат, 1981. – 33с.
3. ГОСТ 25485-89 Бетоны ячеистые. Технические условия.
4. Горбунов Г.И. Основы строительного материаловедения. – М.: Изд. АСВ. - 168с.
5. Попов Л.Н. Строительные материалы. – М.: ОАО «ЦПП». - 467 с.
6. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
7. ГОСТ 10060.1-95 Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости
8. ГОСТ 7025-91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
9. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний.
10. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения прочности при изгибе и сжатии.
11. ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
12. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытания на растяжение.
13. ГОСТ 23789-79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
14. ГОСТ 16483.3-84 Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе.
15. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
16. ГОСТ 30629-99 Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний.
17. ГОСТ 9012-59 Металлы. Методы измерения твердости по Бринеллю.
18. ГОСТ 9013-59 Металлы. Методы измерения твердости по Роквеллу.
19. ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Виккерсу.
20. ГОСТ 11529-86 Материалы поливинилхлоридные для полов. Методы контроля.
21. ГОСТ 13087-81 Бетоны. Методы определения истираемости.
22. ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести

Ханова Наталия Ивановна
Конкина Инна Викторовна

Основные свойства строительных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

студентам всех форм обучения направления 270800.62 Строительство и
специальности 271101.65 Строительство уникальных зданий и
сооружений

Подписано к печати _____. Бумага газетная.

Формат 60×90 1/16. Печать трафаретная. Уч.-изд. л. 1.5 .

Усл.печ.л. 2,2; тираж 450 экз. Заказ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

603950, Н.Новгород, Ильинская ул., 65.

Полиграфический центр ННГАСУ,

603950, Н.Новгород, Ильинская ул., 65