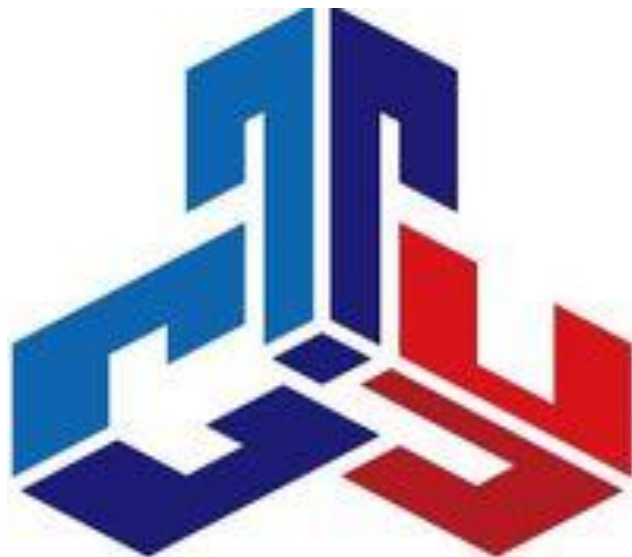


**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания к  
лабораторным работам

Рязань, 2021

УДК 620  
ББК 65. 04  
М 34

**Материаловедение** : методические указания к лабораторным работам (Электронный ресурс)/сост. Ширяев А.Г. ;  
Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2021. – 26 с.

*Рецензент:*

*к.х.н., доц; нач. ПТО ООО «Экотранс» Никандров Г. А.*

В учебном пособии даны описания лабораторных работ.

Рекомендовано для студентов-бакалавров, обучающихся по техническим специальностям.

*Издается по решению Ученого Совета  
Современного технического университета.*

УДК 620  
ББК 65. 04  
М 34

© Ширяев А.Г.

© Современный технический университет, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Каждый материал, используемый в строительстве, имеет различные свойства, определяющие область его рационального применения и возможность сочетания с другими материалами.

Свойства строительных материалов определяются их химическим составом и строением.

В зависимости от химического состава строительные материалы принято делить на:

- *органические* (древесина, битум, пластмассы);
- *минеральные* (природный камень, бетон, керамика и т.п.);
- *металлические* (сталь, чугун, цветные металлы).

У каждой из этих групп материалов есть свои специфические свойства. Так, органические материалы не выдерживают высоких температур и горят; минеральные, напротив, хорошо противостоят действию огня, а металлы очень хорошо проводят электричество и теплоту.

Не меньше, чем химический состав, на свойства материала влияет его строение. При одном и том же химическом составе материалы различного строения обладают разными свойствами. Например, мел и мрамор – две горные породы, состоящие из карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , но пористый рыхлый мел имеет низкую прочность и легко размокает в воде, а плотный мрамор прочен и стоек к действию воды.

Исходя из условий работы материала в сооружении, строительные материалы можно разделить по назначению на две группы.

**Первую группу** составляют материалы универсального типа, пригодные для несущих конструкций: природные каменные материалы; искусственные каменные материалы: получаемые на основе вяжущих веществ без обжига (бетоны, строительные растворы); получаемые высокотемпературной обработкой минерального сырья (керамика, стекло, металлы); конструкционные пластмассы; лесные материалы и др.

**Вторая группа** объединяет строительные материалы специального назначения, необходимые для защиты конструкций от вредных влияний среды, а так же для повышения эксплуатационных свойств зданий и создания комфорта: теплоизоляционные материалы; акустические; гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие; отделочные, антикоррозионные и др.

## 1. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составами.

**Химический состав** строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала: огнестойкости, биостойкости, механических и других технических характеристиках. Химический состав неорганических веществ (цемента, извести и др.) и каменных материалов удобно выражать количеством содержащихся в них оксидов (%). Основные и кислотные оксиды связаны между собой и образуют минералы, которые и определяют многие свойства материала.

**Минеральный состав**, например, показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в вяжущем веществе или в каменном материале.

**Фазовый состав** материала (содержание воздуха, влаги или льда в порах) оказывает влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации. В материале выделяют твёрдый каркас, образующий стенки пор, и поры, заполненные воздухом или водой.

Строение материала изучают на трёх уровнях:

- макроструктура материала – строение, видимое невооружённым глазом;
- микроструктура материала – строение, видимое в оптический микроскоп;
- внутреннее строение веществ, составляющих материал, на молекулярном уровне, изучаемом методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т.п.

**Макроструктура** может быть следующих типов: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая (порошкообразная).

*Конгломератная структура* характерна для материалов, представляющих собой плотносоединённые (обычно с помощью какого-нибудь цементирующего вещества) отдельные зёрна, что характерно для некоторых видов природных, керамических материалов, бетона, композитов и др.

*Ячеистая структура* характеризуется наличием макропор, свойственных газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам.

*Мелкопористая структура* свойственна, например, керамическим материалам, поризованным способами высокого водозатворения и введения выгорающих добавок.

*Волокнистая и слоистая структура* характерна для материалов, состоящих из волокон (слоёв), расположенных параллельно одно к другому. Волокнистая структура присуща древесине, стеклопластикам, изделиям из минеральной ваты и др. Слоистая структура отчётливо выражена у рулонных, ли-

стовых, плитных материалов, в частности у пластмасс со слоистым наполнителем. Для волокнистых и слоистых материалов характерна **анизотропия** – наличие различных свойств в разных направлениях, поэтому их называют **анизотропными**.

**Рыхлозернистая структура** характерна для материалов, состоящих из отдельных, не связанных одно с другим зёрен (песок, гравий и др.).

**Микроструктура** веществ, составляющих материал, может быть кристаллическая и аморфная.

**Кристаллическими** называют тела, в которых атомы (или молекулы) расположены в правильном геометрическом порядке, причём этот общий порядок соблюдается как для атомов, расположенных в непосредственной близости друг от друга (ближний порядок), так и на значительном расстоянии (дальний порядок).

**Аморфными** называют тела, в которых только ближайšie друг к другу атомы находятся в более или менее упорядоченном расположении; дальний же порядок отсутствует.

Кристаллические и аморфные формы нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества (например, кристаллический кварц и различные аморфные формы кремнезёма).

Неодинаковое строение кристаллических и аморфных веществ определяет и различие в их свойствах. Аморфные вещества, обладая нерастраченной внутренней энергией кристаллизации, химически более активны, чем кристаллические такого же состава. Существенное различие между аморфными и кристаллическими веществами состоит в том, что кристаллические вещества при нагревании имеют определённую температуру плавления, а аморфные – размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние. Прочность аморфных веществ, как правило, ниже кристаллических, поэтому для получения материалов повышенной прочности специально проводят кристаллизацию.

**Внутреннее строение** веществ, составляющих материал, определяет механическую прочность, твёрдость и другие важные свойства материала.

## 2. СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА

Основные структурные характеристики материала, во многом определяющие его технические свойства, – это **плотность** и **пористость**; важнейший параметр состояния – **влажность**.

**Плотность** – физическая величина, определяемая массой единицы объёма материала.

В зависимости от того, берётся ли в расчёт объём только самого вещества, из которого состоит материал, или весь объём материала с порами и пустотами, различают **истинную** и **среднюю плотность**.

**Истинная плотность**  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) – масса единицы объёма материала, когда в расчёт берётся только объём твёрдого вещества этого материала  $V_a$  (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>):

$$\rho = \frac{m}{V_a}. \quad (2.1)$$

Таким образом, истинная плотность характеризует не материал, а вещество, из которого состоит материал, – это физическая константа вещества.

Значение истинной плотности вещества зависит в основном от его химического состава, и у материалов с близким химическим составом истинная плотность приблизительно одинаковая.

**Средняя плотность материала**  $\rho_m$  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) (далее плотность) – физическая величина, определяемая отношением массы  $m$  (г, кг) материала ко всему занимаемому им объёму  $V_{ecm}$  (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>), включая имеющиеся в нём поры и пустоты:

$$\rho_m = \frac{m}{V_{ecm}}. \quad (2.2)$$

Следовательно, средняя плотность материала меняется в зависимости от его структуры.

Для сыпучих материалов (песка, щебня, цемента и т.п.) часто вводится ещё одно понятие – **насыпная плотность**.

**Насыпная плотность**  $\rho_n$  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) – отношение массы материала в насыпном состоянии к его объёму. В её величине отражается влияние не только пор в каждом зерне, но и межзерновых пустот в рыхлонасыпанном объёме материала.

Часто плотность материала относят к плотности воды при температуре 4°С, равной 1 г/см<sup>3</sup>, и тогда определяемая плотность становится безразмерной величиной, которую называют **относительной плотностью**  $d$ .

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой **пористостью**, распределением пор по их радиусам, средним радиусом пор и удельной поверхностью пор.

**Пористость**  $\Pi$  (%) – степень заполнения объёма материала порами:

$$\Pi = \frac{V_{ecm} - V_a}{V_{ecm}} \cdot 100. \quad (2.3)$$

Обычно пористость рассчитывают исходя из средней и истинной плотности материала:

$$P = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100 = (1 - \frac{\rho_m}{\rho}) \cdot 100. \quad (2.4)$$

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 до 90...98% (см. табл. 2.1).

**Таблица 2.1. Истинная, средняя плотность и пористость некоторых строительных материалов**

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Пористость, %
	истинная	средняя	
Сталь	7800...7900	7800...7900	0,1...0,5
Гранит	2700...2800	2600...2700	0,5...1
Тяжёлый бетон	2600...2700	2200...2500	8...12
Кирпич	2500...2600	1400...1800	25...45
Древесина	1500...1550	400...800	45...70
Пенопласты	950...1200	20...100	90...98

Пористость материала характеризуют не только с количественной стороны, но и с качественной, т.е. по характеру пор: замкнутые и открытые, мелкие (размером в сотые и тысячные доли миллиметра) и крупные (от десятых долей миллиметра до 2...5 мм).

*Пористость является основной структурной характеристикой, определяющей такие свойства материала, как водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость, прочность, акустические свойства и др.*

В ряде случаев используют величину обратную пористости - **коэффициент плотности  $K_{пл}$**  (%), характеризующий степень заполнения объёма материала твёрдым веществом:

$$K_{пл} = \frac{\rho_m}{\rho} \cdot 100. \quad (2.5)$$

**Влажность  $Вл$**  – содержание влаги в материале в данный момент, отнесённое к единице массы материала в сухом состоянии. Влажность  $Вл$  (%) определяют по формуле:

$$Вл = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (2.6)$$

где  $m_{вл}$  – масса материала в естественно-влажном состоянии, г;  $m_{сух}$  – масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

### 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

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

#### 3.1 Гидрофизические свойства

Строительные материалы в процессе их эксплуатации и хранения подвергаются действию воды или водяных паров, находящихся в воздухе. При этом их свойства существенно изменяются. Так, при увлажнении материала повышается его теплопроводность, изменяется средняя плотность, прочность и другие свойства. Поэтому при всех расчётах необходимо учитывать как влажность материала, так и его способность к поглощению влаги (водопоглощение и гигроскопичность).

**Гидрофильность и гидрофобность** – свойства поверхности материала по отношению к воде. Мерай гидрофильности и гидрофобности служит энергия связи молекул воды с поверхностью вещества, из которого состоит материал.

*Гидрофильные* (от греч. *phileo* - люблю) материалы имеют высокую степень связи с водой, а *гидрофобные* (от греч. *phobos* – страх) материалы имеют низкую степень связи с водой.

**Капиллярное всасывание** (от лат. *capillaris* - волосяной) – способность материала всасывать и передавать по своей толще влагу с помощью тонких капиллярных пор. Гидрофильные материалы, имеющие мелкие поры и капиллярные каналы, например, кирпич, при соприкосновении с водой способны поглощать её и поднимать по капиллярам на значительную высоту.

**Водопоглощение** – интегральный показатель способности материала поглощать влагу и удерживать её в своих порах.

Водопоглощение характеризуется максимальным количеством воды, поглощаемым образцом материала при выдерживании его в воде, отнесённым к массе сухого образца (*водопоглощение по массе  $W_m$* ) или к его объёму (*объёмное водопоглощение  $W_o$* ).

Водопоглощение  $W_m$  и  $W_o$  (%) определяют по формулам:

$$W_m = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100; \quad (3.1.1)$$

$$W_o = \frac{V_{H2O}}{V_{ест}} \cdot 100 = W_m d, \quad (3.1.2)$$

где  $m_{нас}$  – масса материала в насыщенном водой состоянии, г;  $m_{сух}$  – масса сухого материала, г;  $V_{ест}$  – объём материала в сухом состоянии, см<sup>3</sup>,  $d$  – относительная плотность материала.

Водопоглощение по объёму отражает степень заполнения пор материала водой. Так как вода не проникает во все поры и не удерживается в пустотах, объёмное водопоглощение меньше истинной пористости.

**Коэффициент насыщения пор водой  $K_n$**  – отношение водопоглощения по объёму к общей пористости:

$$K_n = \frac{W_o}{P}. \quad (3.1.3)$$

Коэффициент насыщения позволяет оценить структуру материала. Он может изменяться от 0, когда все поры в материале замкнуты, до 1, когда все поры открыты, т.е. водопоглощение по объёму равно пористости.

**Морозостойкость** – свойство материала, насыщенного водой, выдерживать попеременное замораживание и оттаивание без значительных признаков разрушения и снижения прочности. Разрушение материала при таких циклических воздействиях связано с появлением в нём напряжений, вызванных как односторонним давлением растущих кристаллов льда в порах материала, так и всесторонним гидростатическим давлением воды, вызванным увеличением её объёма при образовании льда примерно на 9%.

*Морозостойкость материала зависит от его пористости и водопоглощения.*

Морозостойкость материала характеризуется числом циклов замораживания (при температуре не выше минус 18°C) и оттаивания при температуре плюс 18...20°C (в воде), которое он выдерживает без снижения прочности, потери массы или появления внешних повреждений, указанных в нормативных документах на соответствующий материал.

По морозостойкости материалы подразделяют на марки: F15; F25; F35; F50; F100 и т.д. Например, марка по морозостойкости F15 означает, что образец выдерживает не менее 15 циклов «замораживания-оттаивания» без появления внешних повреждений (отколов, шелушения поверхности и т.п.).

*Морозостойкость материала, находящегося в контакте с внешней средой, для условий климата России является важнейшим показателем его долговечности.*

**Влажностные деформации** – изменение размеров и объёма материала при его высыхании называют *усадкой* (усушкой), а увеличение размеров при увлажнении вплоть до полного насыщения материала водой – *набуханием* (разбуханием).

**Воздухостойкость** – способность материала выдерживать циклические воздействия увлажнения и высушивания без заметных деформаций и потери механической прочности.

**Влагоотдача** – способность материала терять находящуюся в его порах воду. Влагоотдачу определяют количеством воды, испаряющейся из образца материала в течение суток при температуре воздуха 20°C и относительной влажности 60%.

**Водопроницаемость** – это свойство материала пропускать воду под давлением.

Характеристикой водопроницаемости материала является *коэффициент фильтрации  $K_\phi$*  (м/ч):

$$K_\phi = \frac{V_\phi a}{S(p_1 - p_2)t}, \quad (3.1.4)$$

где  $V_\phi$  – количество воды (м<sup>3</sup>), проходящей через стенку площадью  $S = 1$  м<sup>2</sup>, толщиной  $a = 1$  м за время  $t = 1$  ч при разности гидростатического давления на границах стенки  $p_1 - p_2 = 1$  м вод. ст. Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости.

Водонепроницаемость материала (например, бетона) характеризуется маркой, обозначающей одностороннее гидростатическое давление, при котором бетонный образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания. Коэффициент фильтрации и марка по водонепроницаемости связаны между собой: чем ниже  $K_\phi$  материала, тем выше марка по водонепроницаемости.

**Паропроницаемость и газопроницаемость** – способность материала пропускать водяные пары или газы при наличии разницы абсолютной влажности воздуха (парциального давления пара или газа в воздухе) по обе стороны материала. Пар (газ) стремится пройти через материал в ту сторону, где его парциальное давление ниже (например, из тёплого помещения в холодное). Паропроницаемость оценивается *коэффициентом паропроницаемости  $K_n$*  ( $\frac{г}{м \cdot с \cdot Па}$ ), численно равным количеству водяного пара,

проникающего через материал толщиной 1 м площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 с, и с разностью парциальных давлений пара в 133,3 Па:

$$K_n = \frac{aV\rho}{St\Delta p}, \quad (3.1.5)$$

где  $V\rho$  - масса газа (плотностью  $\rho$ ), прошедшего через стенку площадью  $S$  и толщиной  $a$  за время  $t$  при разности давлений на гранях стенки  $\Delta p$ .

Аналогичным коэффициентом оценивается и газопроницаемость (воздухопроницаемость).

### 3.2 Теплофизические свойства

Отношение материала к постоянному или переменному тепловому воздействию характеризуется его теплопроводностью, теплоёмкостью, термической стойкостью, огнестойкостью, огнеупорностью и др.

**Теплопроводность**  $\lambda$  ( $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$ ) – способность материала передавать теплоту сквозь свою толщину от одной своей поверхности к другой в случае, если температура этих поверхностей разная. Теплопроводность материала характеризуется количеством теплоты (Дж), которое способен передать материал через 1 м<sup>2</sup> поверхности при толщине 1 м и разности температур на поверхностях 1 °С в течение 1 с.

Теплопроводность твёрдого вещества зависит от его химического состава и молекулярного строения, но во всех случаях она во много раз превышает теплопроводность воздуха –  $0,024 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$ . Поэтому чем больше в материале пор, т.е. чем больше в нём воздуха, тем ниже будет его теплопроводность.

Таблица 3.1. Теплопроводность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Теплопроводность, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$
Сталь	58
Гранит	2,9...3,3
Бетон тяжёлый	1,28...1,55
Кирпич керамический сплошной	0,81...0,87
Вода (для сравнения)	0,59
Известняк	0,52...0,98
Бетон лёгкий	0,35...0,8
Пенобетон	0,12...0,15
Фибролит	0,09...0,17
Минеральная вата	0,04...0,06
Древесноволокнистые плиты	0,046...0,093
Пенопласты	0,028...0,043

Так как средняя плотность материала, так же как и теплопроводность, обратно пропорциональна пористости, то она может служить косвенной характеристикой теплопроводности материала и использоваться в качестве марки материала по теплопроводности.

Для некоторых групп материалов установлена определённая связь между теплопроводностью и относительной плотностью  $d$  (формула В.П. Некрасова):

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 d^2} - 0,16. \quad (3.2.1)$$

**Теплоёмкость**  $C$  ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ ) – свойство материала аккумулировать теплоту при нагревании. Показателем теплоёмкости служит *удельная теплоёмкость*, равная количеству теплоты, необходимой для нагревания единицы массы материала на 1°С. Строительные материалы имеют теплоёмкость меньше, чем вода, которая обладает наибольшей теплоёмкостью  $4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ .

**Температуροпроводность**  $a$  (м<sup>2</sup>/с) – свойство материала, характеризующее скорость распространения температуры под действием теплового потока в нестационарных температурных условиях, например, при пожаре. Температуροпроводность прямо пропорциональна теплопроводности  $\lambda$  и обратно пропорциональна теплоёмкости материала  $C$  и его плотности  $\rho_m$ :

$$a = \frac{\lambda}{c\rho_m} \quad (3.2.2)$$

**Тепловое расширение** – свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении – характеризуется *температурными коэффициентами объёмного и линейного расширения*.

**Коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР)** характеризует удлинение материала при нагревании его на 1°C. Коэффициенты линейного температурного расширения у разных материалов значительно отличаются (см. табл. 3.2).

**Термическая стойкость** – способность материала выдерживать чередование (циклы) резких тепловых изменений. Это свойство в значительной степени зависит от однородности материала и *коэффициента теплового расширения* составляющих его веществ. Чем меньше КЛТР и выше однородность материала, тем выше его термическая стойкость.

Таблица 3.2. Коэффициент линейного температурного расширения некоторых строительных материалов

Материал	КЛТР·10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup>	Материал	КЛТР·10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup>
Сталь	10...12	Стекло	9
Бетон	10...12	Медь	17
Алюминий	24	Полиэтилен	300...500

**Огнестойкость** – способность материала выдерживать, не теряя несущей способности, воздействие огня и воды в условиях пожара. Огнестойкость выражается периодом времени, в течение которого материал не теряет несущей способности. По отношению к действию огня строительные материалы делят на негорючие, трудногорючие и горючие.

*Негорючие материалы* под действием огня или высокой температуры не горят и не обугливаются (например, бетон, кирпич и др.).

*Трудногорючие материалы* под действием огня медленно воспламеняются и после удаления огня их горение и тление прекращаются (например, фибролит, пропитанная антипиренами древесина, асфальтобетон).

*Горючие материалы* под действием огня или высокой температуры горят и продолжают гореть после удаления источника огня.

**Огнеупорность** – свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не деформируясь и не расплавляясь. Материалы, выдерживающие температуру более 1580°C, называют *огнеупорными*, от 1350 до 1580°C – *тугоплавкими*, ниже 1350°C – *легкоплавкими*. Материалы, которые способны длительное время выдерживать температуру до 1000°C при незначительной потере прочности, относят к *жаростойким* (кирпич, жаростойкий бетон и др.).

**Радиационная стойкость** – свойство материала сохранять свою структуру и физико-механические характеристики после воздействия ионизирующих излучений.

### 3.3 Акустические свойства

Акустические свойства материалов – это свойства, связанные с взаимодействием материала и звука. Звук, или звуковые волны, – это механические колебания, распространяющиеся в твёрдых, жидких и газообразных средах.

Различают две стороны взаимодействия звука и материала: *звукопроводность* – свойство материала проводить через свою толщину звук, и *звукопоглощение* – свойство материала поглощать и отражать падающий на него звук.

*Звукопроводность* зависит от массы материала и его строения: материал тем меньше проводит звук, чем больше его масса, а *звукопоглощение* зависит от характера поверхности материала: материалы с гладкой поверхностью отражают большую часть падающего на них звука (эффект зеркала), а с пористой поверхностью наоборот, поглощают.

## 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться действию внешних сил или иных факторов (например, температурных), вызывающих в нём внутренние напряжения.

### 4.1 Прочность

**Прочность** (кН/см<sup>2</sup>, МПа, кгс/см<sup>2</sup>) – свойство материала в определённых условиях и пределах воспринимать нагрузки или другие воздействия, вызывающие в нём внутренние напряжения, без разрушения.



Прочность оценивают *пределом прочности* (Па), который условно равен максимальному напряжению, соответствующему нагрузке, вызвавшей разрушение материала, и на сжатие определяется по формуле:

$$R = \frac{P_{разр}}{F}, \quad (4.1.1)$$

где  $P_{разр}$  – разрушающая сила, Н;  $F$  – площадь сечения образца до испытаний, м<sup>2</sup>.

*Предел прочности* материала определяют на образцах, формы и размеры которых устанавливают нормативные документы на этот материал.

Прочность материала является одной из основных характеристик для большинства строительных материалов, т.к. они в сооружениях всегда подвергаются тем или иным воздействиям, вызывающим напряжённое состояние (сжатие, растяжение, изгиб и др.). Предел прочности материала часто характеризует его *марку*. По пределу прочности при сжатии установлены марки в широком диапазоне от 0,5 до 1000 МПа и более.

Для оценки прочностной эффективности материала часто используют *удельную прочность* (*коэффициент конструктивного качества*), который определяется делением предельной прочности при сжатии (изгибе)  $R_{сж}$  ( $R_{изг}$ ) на относительную плотность материала  $d$ :

$$R_{уд} = к.к.к. = \frac{R}{d}. \quad (4.1.2)$$

**Водостойкость** – способность материала, насыщенного водой, сохранять свою прочность. Степень понижения прочности материала характеризуется *коэффициентом размягчения*:

$$K_p = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}, \quad (4.1.3)$$

где  $R_{нас}$  – предел прочности материала в насыщенном водой состоянии, МПа,  $R_{сух}$  – предел прочности материала в сухом состоянии, МПа.

Значение  $K_p$  для разных материалов колеблется от 0 (необожжённая глина) до 1 (стекло, сталь). Материал считается водостойким при  $K_p > 0,8$ . В этом случае их разрешается применять в сырых местах без специальных мер по защите от увлажнения.

## 4.2 Деформативные свойства

**Релаксация** – свойство материала самопроизвольно снижать напряжения при условии, что начальная величина деформации зафиксирована жёсткими связями и остаётся неизменной.

**Упругость** – свойство материала принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Количественно упругость характеризуется пределом упругости, условно равным напряжению, когда материал начинает получать остаточные деформации очень малой величины, устанавливаемой в нормативных документах для данного материала. К упругим материалам относятся природные и искусственные каменные материалы, стекло, сталь.

**Модуль упругости  $E$**  (*модуль Юнга*) характеризует меру жёсткости материала, т.е. его способность сопротивляться упругому изменению формы и размерам при приложении к нему внешних сил. Модуль упругости  $E$  связывает упругую относительную деформацию  $\varepsilon$  и одноосное напряжение в этом материале  $\sigma$  соотношением, выражающим *закон Гука*:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}. \quad (4.2.1)$$

**Пластичность** – свойство материала при нагружении в значительных пределах изменять размер и форму без образования трещин и разрывов и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Примером пластичного материала служат битумы (при положительных температурах), некоторые виды пластмасс, свинец, бетонные и растворные смеси до затвердевания.

**Хрупкость** – свойство материала разрушаться «внезапно» без заметных пластических деформаций, чётко проявляемое при ударной нагрузке (например, стекло).

**Гибкость** – способность упруго-пластичного материала сохранять сплошность структуры (без появления трещин) при огибании вокруг стержня определённого диаметра.

## 4.3 Специальные механические свойства

В ряде случаев для обоснования технической целесообразности применения материала следует учитывать *специальные механические свойства*, к которым относятся *ударная вязкость, твёрдость, истираемость и износостойкость*.

**Ударная вязкость** (*ударная или динамическая прочность*) – свойство материала сопротивляться ударным нагрузкам. Ударная вязкость измеряется работой разрушения.

**Твёрдость** – способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твёрдого. Твёрдость – величина относительная, т.к. твёрдость одного материала оценивается по отношению к твёрдости другого.

Высокая прочность материала не всегда говорит о его твёрдости. Так, древесина по прочности при сжатии сравнима с бетоном, а при изгибе и растяжении во много раз превосходящая его, значительно уступает бетону в твёрдости.

**Истираемость  $I$**  (г/см<sup>2</sup>) – свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесённой к площади поверхности истирания  $F$  и вычисляют по формуле:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad (4.3.1)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца до и после истирания.

**Износостойкость** – способность материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и удара.

## 5. ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

### 5.1 Химические свойства

Химические свойства материала характеризуют его способность к химическим превращениям и изменению структуры под влиянием веществ, с которыми он находится в соприкосновении, а так же некоторых физических (например, нагревание, облучение, электрический ток) и биологических (микрорганйзмы, грибки и др.) воздействий. Из химических свойств материалов важнейшим является *коррозионная и химическая стойкость*, а так же *горючесть*.

**Коррозионная стойкость** – свойство материала не разрушаться под действием химических и электрохимических процессов, протекающих в нём при взаимодействии с внешней средой.

**Химическая стойкость** – свойство материала сопротивляться действию агрессивной среды (кислоты, щелочи, растворы солей, газы), при взаимодействии которой с материалом может происходить его разрушение (коррозия).

**Горючесть** – свойство материала гореть, т.е. участвовать в сложном, быстро протекающем химическом процессе, сопровождающемся выделением теплоты и света.

Отдельно стоит отметить о *химической активности*, которая важна для материалов, используемых как связующее (например, цемент).

### 5.2 Физико-химические свойства

Среди физико-химических свойств строительных материалов выделяют *адгезию*, а так же ряд *реологических свойств*, среди которых *вязкость* и *тиксотропия*.

**Адгезия** – свойство одного материала прилипать к поверхности другого материала. Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, формы и состояния поверхности, условий контакта и др.

**Вязкость** – способность материала поглощать механическую энергию при его деформировании. Когда пластично-вязкий материал начинает течь, напряжения в материале зависят уже от скорости его деформации. Коэффициент пропорциональности, связывающий скорость деформации и необходимое для этого напряжение, называют вязкостью  $\varphi$  (Па·с).

**Тиксотропия** – способность пластично-вязких смесей обратимо восстанавливать свою структуру, разрушенную механическими воздействиями. Физическая основа тиксотропии – восстановление структурных связей внутри пластично-вязкого материала после прекращения механического воздействия.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

#### Плотность и пористость.

**Задание:** Определить истинную и среднюю плотность некоторых строительных материалов и рассчитать их пористость и коэффициент плотности.

**Цель:** Ознакомиться с сущностью понятий *истинная* и *средняя плотность* и методами их определения для образцов правильной и неправильной геометрической формы, научиться рассчитывать *пористость* и *коэффициент плотности* различных материалов.

#### Определение истинной плотности

Методика: *определение объёма навески измельчённого материала*

Приборы: *колба - объёммер (колба Ле Шателье), весы технические, стеклянная палочка, стеклянный (фарфоровый) стакан*

Инертная жидкость: *вода*

Температура жидкости: *20°C*

Материалы: *навеска размолотого в порошок керамического кирпича*

Масса порошка: *взвешивается*

Объём вытесненной жидкости: *20 см<sup>3</sup>*

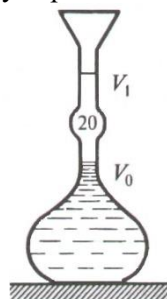
Масса остатка порошка: *взвешивается*

Масса всыпанного порошка: *определяется как разность между массой порошка и массой остатка порошка*

Истинная плотность  $\rho$ : *определяется по формуле (2.1)*

**Ход работы:** Пробу тонкоразмолотого кирпича с размером частиц менее размера пор в кирпиче массой около 100 г помещают в стаканчик и взвешивают на технических весах с погрешностью не более 0,05 г ( $m_1$ ).

В объёммер (рис.1) наливают воду до нижней риски, нанесённой до расширения на горле колбы. Горло объёммера подсушивают фильтровальной бумагой или тряпочкой. Затем порошок кирпича из взвешенного стакана осторожно с помощью стеклянной палочки пересыпают в объёммер до тех пор, пока уровень воды не поднимется до верхней метки (при этом потери порошка недопустимы). Объём засыпанного порошка  $V_n$  равен объёму между верхней и нижней метками объёммера (20 см<sup>3</sup>).



**Рис. 1** Колба - объёммер (колба Ле Шателье)

Массу порошка кирпича (г), засыпанного в объёммер, определяют взвешивая остатки порошка в стакане  $m_2$  и вычисляют её как разность масс:

$$\Delta m = m_1 - m_2.$$

Истинная плотность рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V_n}.$$

**Пример:**

Масса порошка  $m_1$ : 108,8 г

Объём вытесненной жидкости  $V_n$ : 20 см<sup>3</sup>

Масса остатка порошка  $m_2$ : 55,3 г

Масса всыпанного порошка: 53,5 г

Истинная плотность  $\rho = \frac{m_1 - m_2}{V_n} = \frac{108,8 - 55,3}{20} = 2,68 \text{ г/см}^3$  или  $2680 \text{ кг/м}^3$

### Определение средней плотности материалов в образцах правильной и неправильной формы

Методика: определение массы и размеров образцов правильной формы (древесина, пенопласт, керамический кирпич); использование метода гидростатического взвешивания для образцов неправильной геометрической формы (сталь, гранит).

**Ход работы:** Образец материала правильной формы. Образцы древесины, пенопласта и керамического кирпича, имеющие форму параллелепипеда, измеряют линейкой с погрешностью 1 мм и рассчитывают объём образцов  $V_{ест}$  (см<sup>3</sup>) по формуле:

$$V_{ест} = a \cdot b \cdot h,$$

где  $a$  и  $b$  – стороны образца,  $h$  – высота образца, см.

Затем определяют их массу  $m$  с погрешностью 5 г для керамического кирпича и 0,1 г для древесины и пенопласта. Среднюю плотность  $\rho_m$  (г/см<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле (2.2), а затем переводят её в кг/м<sup>3</sup>, умножая полученное значение на 1000. Полученные данные заносят в таблицу.

**Образец материала неправильной формы.** Трудность определения средней плотности на таких образцах заключается в определении объёма образца, т.к. его невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений. Для определения объёма используют метод гидростатического взвешивания, основанный на законе Архимеда: объём тела оценивают по объёму вытесненной телом жидкости, который в свою очередь, определяют по выталкивающей силе, действующей на погружённый в жидкость образец.

Образец взвешивают в сухом состоянии  $m_{сх.}$ . Далее образец постепенно заливают нейтральной по отношению к материалу образца жидкостью, в нашем случае водой, и периодически (через 1...2 мин) взвешивают; перед взвешиванием образец протирают влажной тканью. Заканчивают насыщение образца после того, когда два последовательных взвешивания будут отличаться не более чем на 0,05 г. Значение массы образца в этот момент принимают за массу насыщенного водой образца  $m_{нас.}$

Насыщенный водой образец подвешивают на тонкой проволочке к коромыслу технических весов и ещё раз определяют его массу  $m_{нас.}$ . Затем образец, не снимая с весов, погружают в воду, используя приспособление для гидростатического взвешивания (рис. 2) и определяют массу гирь, уравновешивающих образец, находящийся в воде –  $m_{вод.}$

По результатам двух последних взвешиваний рассчитывают естественный объём образца  $V_{ест}$ :

$$V_{ест} = \frac{m_{нас.} - m_{вод.}}{\rho_{вод.}},$$

где  $\rho_{вод.} = 1 \text{ г/см}^3$ . Среднюю плотность  $\rho_m$  рассчитывают по приведённой ранее формуле.

Результаты всех испытаний заносят в сводную таблицу (см. табл. 2 лабораторного журнала).

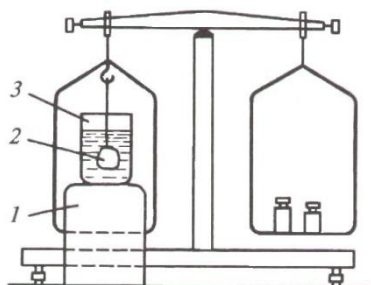


Рис. 2 Весы для гидростатического взвешивания:

1 - П-образная подставка; 2 - образец материала; 3 – стакан с водой

### Пример:

Таблица. Результаты определения структурных характеристик и свойств материалов

Показатели, размерность	Форма образца				
	правильная			неправильная	
	Древесина	Пенопласт	Кирпич керам.	Сталь	Гранит
Масса образца $m$ , г	49,3	15,6	3300	94,5	63,5

Размеры, см: длина ширина высота	4,5	14,6	24,8	-	-
	4,5	9,2	12	-	-
	4,7	5,1	5,7	-	-
Объём, $V_{есм}$ , см <sup>3</sup>	95,18	658,03	1696,32	-	-
Масса гирь при взвешивании в воде $m_1$ , г	-	-	-	82,16	40,1
Масса вытесненной воды $m_{вод} = m - m_1$ , г	-	-	-	12,34	23,4
Объём воды (образца) $V_e = m_{вод} / \rho_{вод}$ , см <sup>3</sup>	-	-	-	12,34	23,4
Средняя плотность $\rho_m$ , г/см <sup>3</sup>	0,517	0,02	19,5	7,658	2,71
То же, кг/м <sup>3</sup>	517	20	1950	7658	2710

Расчётная формула:  $\rho_m = \frac{m}{V_{есм}}$

### Расчёт пористости и коэффициента плотности

**Ход работы:** Используя найденные значения истинной плотности кирпича и данные таблицы (см. табл. 1 лабораторного журнала), а так же учитывая полученные значения средней плотности (см. табл. 2 лабораторного журнала), рассчитывают пористость  $\Pi$  (%) и коэффициент плотности  $K_{пл}$  (%) керамического кирпича, древесины, гранита и пенопласта по формулам (2.4) и (2.5).

При этом учитывают, что

$$\Pi + K_{пл} = 1 \text{ (или 100\%)}$$

Результаты всех расчётов заносят в сводную таблицу (см. табл. 3 лабораторного журнала).

#### Пример:

Таблица. Результаты расчётов пористости и коэффициента плотности

Материал	Пористость, %	Коэффициент плотности, %
Сталь	0	100
Гранит	3	97
Кирпич керамич.	26,5	73,5
Древесина	67	33
Пенопласт	98	2

Формулы:  $\Pi = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100 = (1 - \frac{\rho_m}{\rho}) \cdot 100\%$ ;  $K_{пл} = \frac{\rho_m}{\rho} \cdot 100\%$

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.

### Водопоглощение и прочность материалов.

**Задание:** Определить водопоглощение материала и оценить его морозостойкость. Определить прочность и оценить водостойкость материала. Рассчитать удельную прочность.

**Цель:** Научиться рассчитывать водопоглощение материала и оценивать по полученным значениям его морозостойкость, ознакомиться с методом экспериментального определения предела прочности материала при сжатии оценки его водостойкости по коэффициенту размягчения.

#### Определение водопоглощения и оценка морозостойкости

Методика: поэтапное насыщение образца до постоянной массы

Приборы: весы, секундомер, фарфоровая чашка и пр.

Материал: керамический кирпич

Масса сухого образца  $m_{сух}$ : взвешивается

**Ход работы:** Водопоглощение рассчитывают для образца керамического кирпича, используя данные о массе сухого образца  $m_{сух}$ , массе насыщенного водой образца  $m_{нас}$ , а так же данные, полученные в лабораторной работе №1.

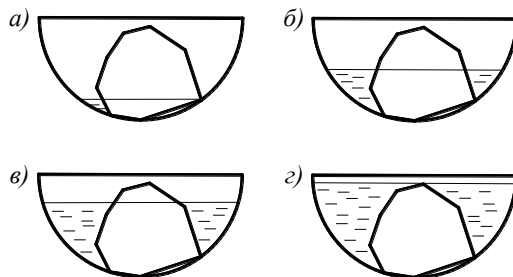
Образец керамического кирпича взвешивают на лабораторных весах и определяют массу сухого образца  $m_{сух}$ . После этого его помещают в фарфоровую чашку, заливают водой на одну четверть от общей высоты образца, выдерживают в течение 2 мин, извлекают из фарфоровой чашки, обсушивают, снова взвешивают и определяют приращение массы  $\Delta m$ :

$$\Delta m = m_i - m_{сух}$$

где  $m_i$  – масса образца после выдерживания в воде.

Затем испытуемый образец снова помещают в фарфоровую чашку, заливают водой на *половину* от общей высоты образца, выдерживают в течение 2 мин, извлекают из фарфоровой чашки, обсушивают, взвешивают и вновь определяют приращение массы  $\Delta m$ .

Аналогичные испытания проводят при погружении образца на *три четверти* от его высоты и на *полную* высоту, последовательно определяя приращение массы  $\Delta m$ , и в конечном итоге - массу насыщенного водой образца  $m_{нас}$ . Схема испытания показана на рис. 3.



**Рис. 3** Схема насыщения образца водой методом постепенного погружения:

- а) при погружении в воду на 1/4 от высоты образца; б) то же на 1/2 от высоты образца; в) то же на 3/4 от высоты образца; г) то же на полную высоту образца

По полученным значениям определяют водопоглощение по массе  $W_m$  и водопоглощение по объёму  $W_o$ , используя формулы (3.1.1) и (3.1.2) соответственно.

По результатам расчётов необходимо оценить морозостойкость и рациональные области применения материала.

Для этого по формуле (3.1.3) рассчитывается коэффициент насыщения пор водой  $K_n$ , по значению которого оценивается морозостойкость материала, исходя из взаимосвязи коэффициента насыщения пор водой  $K_n$  и морозостойкости. Согласно этой взаимосвязи при  $K_n \leq 0,6$  материал считается морозостойким, при  $0,6 < K_n < 0,8$  морозостойкость материала сомнительна, при  $K_n \geq 0,8$  материал считается не морозостойким.

Результаты всех расчётов заносят в сводную таблицу (см. табл. 4 лабораторного журнала), а так же строят график зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой (см. лабораторный журнал), показанный на рис. 4.

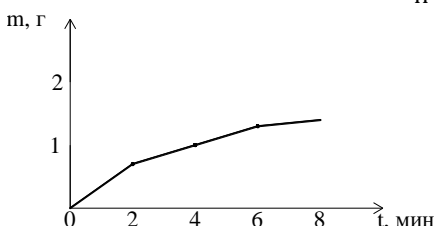
**Пример:**

Масса сухого образца  $m_{сух}$ : 12,5 г

**Таблица. Результаты испытаний**

Показатели, размерность	Высота слоя воды в долях от высоты образца			
	1/4	1/2	3/4	1
Срок выдерживания $t$ , мин	2	2	2	2
Масса образца $m_i$ , г	13,2	13,5	13,8	13,9
Приращение массы $\Delta m = m_i - m_{сух}$ , г	0,7	1,0	1,3	1,4
Водопоглощение по массе $W_m$ , %	-	-	-	11,2
Водопоглощение по объёму $W_o$ , %	-	-	-	21,5
Коэффициент насыщения пор, $K_n$	-	-	-	0,78

Формулы:  $W_m = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100$ ;  $W_o = \frac{V_{H2O}}{V_{ем}} = \frac{(m_{нас} - m_{сух})\rho_m}{m_{сух}\rho_{H2O}} \cdot 100 = W_m \cdot \frac{\rho_m}{\rho_{H2O}} \cdot 100$ , где  $\rho_m$  – средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{H2O}$  - плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>;  $K_n = \frac{W_o}{П}$



**Рис. 4** График зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой

Взаимосвязь  $K_n$  и морозостойкости: при  $K_n \leq 0,6$  материал считается морозостойким, при  $0,6 < K_n < 0,8$  морозостойкость материала сомнительна, при  $K_n \geq 0,8$  материал считается не морозостойким  
 Вывод: морозостоек ли материал по значению  $K_n$ ? Морозостойкость данного материала сомнительна.

**Определение предела прочности при сжатии и оценка водостойкости**

Методика: постепенное нагружение образцов до разрушения

Оборудование: пресс гидравлический, металлическая чашка с водой, измерительная линейка

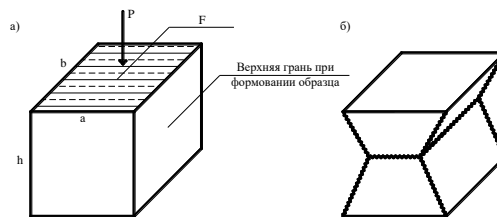
Материал: образцы-кубы из затвердевшего гипсового вяжущего

**Ход работы:** Гипсовые образцы-кубы нумеруют (номер ставят на поверхности, которая была боковой при формировании), измеряют площадь занумерованной поверхности и заносят полученные значения в таблицу (см. табл. 5 лабораторного журнала). Один образец испытывают сухим, второй – помещают в воду перед испытанием на 10...15 мин.

Сухой и влажный образцы помещают в пресс занумерованной (боковой) поверхностью вверх. Затем опускают плиту пресса до поверхности образца и нагружают образец. Момент разрушения определяют по остановке и началу обратного хода стрелки силоизмерителя и визуально по появлению трещин на образце. В этот же момент фиксируют разрушающее усилие  $P_{разр}$ .

Внешний вид образца до и после испытаний показан на рисунке 5.

Вид образца после испытания представляет собой характерную картину хрупкого разрушения (две усечённые пирамиды, сложенные меньшими основаниями).



**Рис. 5** Внешний вид образца: а) до испытания; б) после испытания

Предел прочности при сжатии рассчитывают по формуле (4.1.1).

Водостойкость испытуемого материала оценивают по коэффициенту размягчения, определяемому по формуле (4.1.3). Материал считается водостойким при  $K_p > 0,8$ .

Результаты всех расчётов заносят в сводную таблицу (см. табл. 5 лабораторного журнала).

**Пример:**

**Таблица. Результаты испытаний**

Показатели, размерность	Образец	
	сухой	водонасыщенный
Размеры, см: длина ширина высота	5	5
	5	5
	5	5
Площадь поперечного сечения $F$ , см <sup>2</sup>	25	25
Разрушающее усилие $P_{разр}$ , кН	39	11
Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ , кН/см <sup>2</sup> *	1,56	0,44
То же, МПа	15,6	4,4
Коэффициент размягчения, $K_p$	0,28	

\* 1кН/см<sup>2</sup> = 10МПа = 100кгс/см<sup>2</sup>

Формулы:  $R_{сж} = \frac{P_{разр}}{F}$ ,  $K_p = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}$

Взаимосвязь  $K_p$  и водостойкости: при  $K_p > 0,8$  материал считается водостойким

Вывод: водостоек ли материал по значению  $K_p$ ? Нет, не водостоек.

**Расчёт удельной прочности (коэффициента конструктивного качества)**

**Задание:** Рассчитать удельную прочность для материалов, указанных в таблице (см. табл. 7 лабораторного журнала).

**Ход работы:** Удельную прочность  $R_{уд}$  рассчитывают по формуле (4.1.2).

Результаты всех расчётов заносят в сводную таблицу (см. табл. 7 лабораторного журнала).

**Пример:**

**Таблица. Значение  $R_{y0}$  для некоторых материалов**

Материал	d	$R_{сж}$ , МПа	$R_p$ , МПа	$R_{y0}$ , МПа	
				при сжатии	при растяжении
Сталь марки Ст5	7,85	-	490	-	62,4
Стальная высокопрочная арматурная проволока Вр-II	7,85	-	1780	-	227
Кирпич керамический	1,6	15	-	9,4	-
Бетон тяжёлый	2,4	30	-	12,5	-
Сосна	0,5	50	115	100	230
Стеклопластик листовой	1,5	-	200	-	133,3

Формулы:  $R_{y0} = к.к.к. = \frac{R}{d}$ ;  $d = \frac{\rho_m}{\rho_{H2O}}$

По показателю удельной прочности среди материалов, представленных в таблице, древесина и сталь являются наиболее эффективными конструкционными материалами.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Микульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В. и др. Строительные материалы. – М.: АСВ, 2011.
2. Попов К.Н., Каддо М. Б. Строительные материалы и изделия. – М.: Студент, 2011.
3. Строительное материаловедение / Под общ. ред. проф. Невского В.А. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010.
4. Смирнов В.А., Ефимов Б.А., Кульков О.В. и др. Материаловедение. Отделочные работы. – М.: Академия, 2011.





## Лабораторная работа

### Испытание материалов на сжатие

#### 1. Введение

Цель работы - определение экспериментальным путем основных механических характеристик различных материалов.

Задачи:

- определить ударную вязкость материала при сжатии;
- определить предел прочности.

#### 2. Теоретическое обоснование испытания материалов на сжатие

При испытании на сжатие пластических материалов (мягкой стали, меди и др.) из-за сильной деформации (сплющивания) удастся определить лишь предел текучести; практически они не могут быть разрушены, поэтому для пластических материалов не существует предела прочности при сжатии. Хрупкие материалы (чугун, камень, бетон и др.) разрушаются при сжатии, выдерживая при этом значительно большее напряжение, чем при растяжении. Для этих материалов предел прочности при испытании на сжатие имеет большое практическое значение, т.к. обычно детали из хрупких материалов в реальных конструкциях работают на сжатие.



Рис. 2.1. Деформация стального образца при сжатии

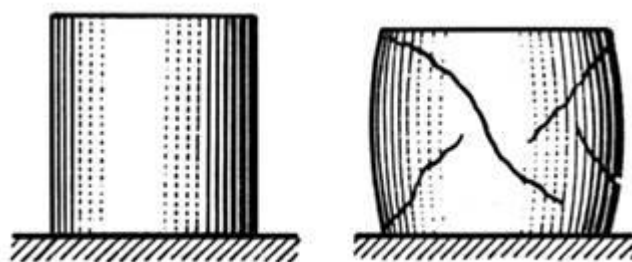


Рис. 2.2. Деформация чугунного образца при сжатии

Испытание деревянных образцов представляют собой интерес вследствие того, что прочность этого материала, имеющего волокнистую структуру, неодинакова вдоль и поперек волокон (анизотропный материал).

Для испытаний применяют деревянные кубики. Прочность дерева на сжатие вдоль волокон обычно в 8-10 раз больше, чем поперек волокон.

Образцы до и после сжатия выглядят следующим образом.

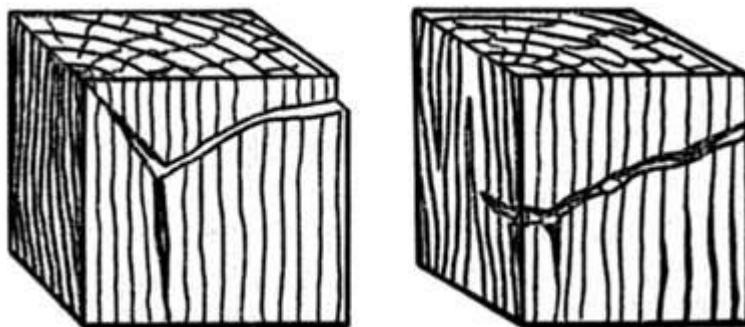


Рис. 2.3. Деревянные образцы, разрушенные при сжатии волокон

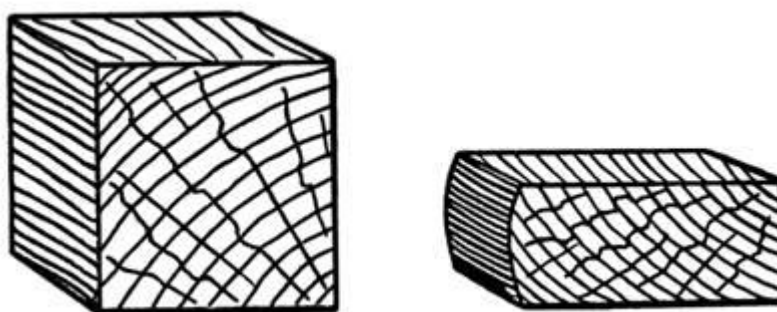


Рис. 2.4. Деревянный образец до и после сжатия поперек волокон

### 3. Оборудование

#### 3.1.1. Пресс гидравлический (П-50)

Гидравлический пресс П-50 предназначен для испытания стандартных образцов строительных материалов на сжатие, а также поперечного изгиба кирпича согласно ГОСТ 530-54 на П-50.

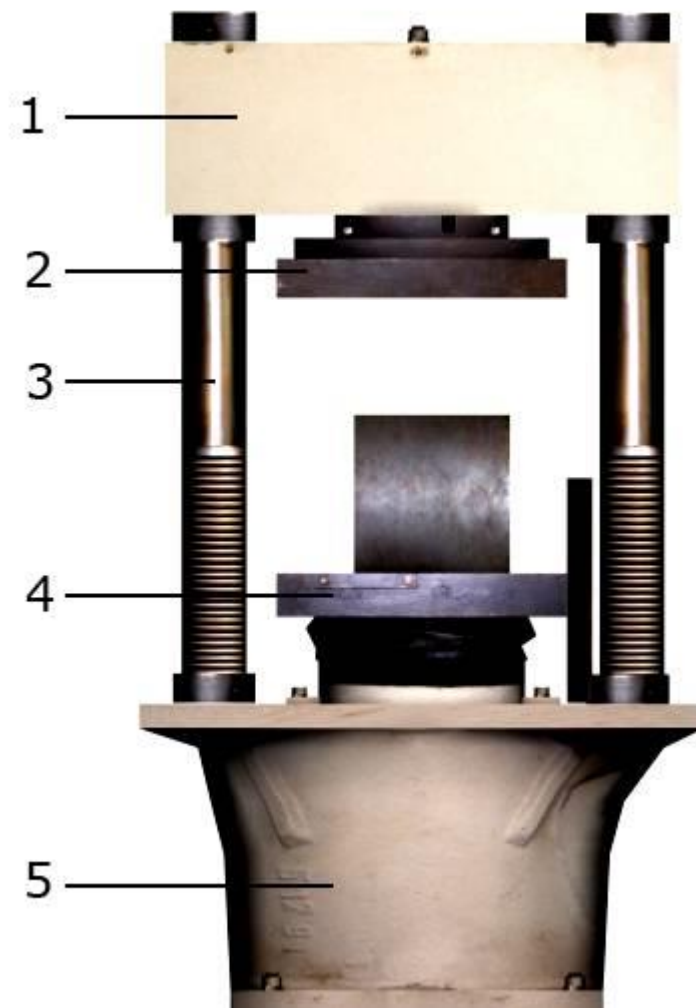


Рис. 3.3. Общий вид гидравлического пресса П-50

По конструкции силовозбуждающего устройства пресс относится к типу гидравлических и включает в себя три отдельных агрегата: собственно пресс (рис. 3.3), пульт управления (рис. 3.4), силоизмеритель СИ-2 (рис. 3.5).

Собственно пресс представляет собой неподвижную раму, состоящую из станины (5) и поперечины (1), соединенных между собой двумя колоннами (3). В центральном гнезде поперечины смонтирована винтовая пара, на которую закреплена плита опорная верхняя (2).

В центральной части станины расположен рабочий цилиндр пресса, в котором помещается плунжер. К плунжеру прикреплена плита нижняя (4). Под действием давления масла в цилиндре плунжер перемещается вверх. Максимальное передвижение его вверх должно быть в пределах 50 мм. Подвижные части машины опускаются вниз под действием собственного веса.

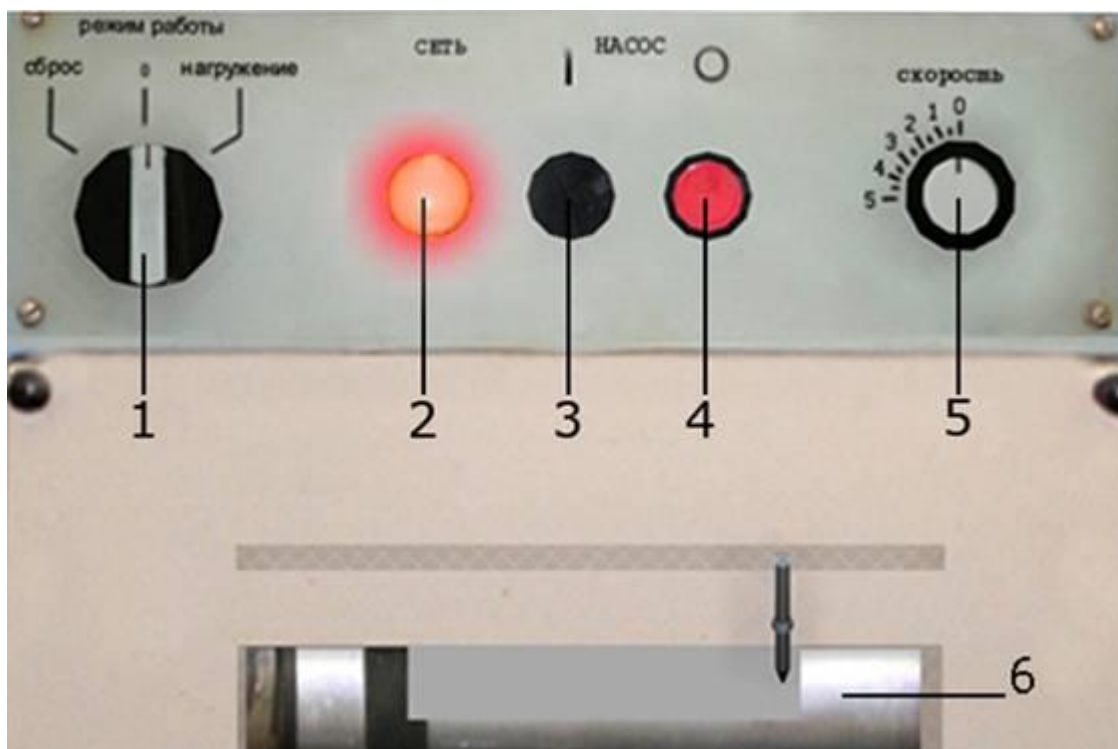


Рис. 3.4. Панель управления прессом

На пульте управления прессом расположены следующие элементы:

- (1) - переключатель режимов работы пресса, где «0» - нерабочее состояние, «СБРОС» - состояние сброса нагрузки пресса и возврата нижней плиты в нижнее положение, «НАГРУЖЕНИЕ» - состояние нагрузки пресса (нижняя плита перемещается вверх).
- (2) – лампочка индикации сети.
- (3) – кнопка включения насоса, подающего жидкость в гидроцилиндр пресса.
- (4) – кнопка выключения насоса.
- (5) – переключатель скорости нагружения пресса.
- (6) – динамограф.



Рис. 3.5. Панель силоизмерителя СИ-2

Силовизмеритель предназначен для отображения нагрузки и скорости нагружения пресса. На пульте силоизмерителя СИ-2 расположены следующие элементы:

- (1) – кнопка включения прибора (вкл/выкл).
- (2) – кнопки включения уровня защиты напряжения. Включение уровня защиты напряжения обеспечивает автоматическое выключение пресса, при достижении напряжения выше указанного.

(3) – кнопка режимов отображения напряжения. При включении режима I загорится индикатор «ПУСК» и числовое табло (6) будет отображать напряжение пресса в реальном времени. При включении режима II загорится индикатор «МАКС» и числовое табло (6) будет отображать последнее максимальное напряжение пресса.

(4) – ручка ручной настройки СИ-2.

(5) – кнопки включения уровней защиты скорости нагружения. Включение уровня защиты скорости нагружения обеспечивает автоматическое выключение пресса, при скорости нагружения выше указанной.

### 3.2.2. Техническая характеристика П-50

Пресс гидравлический предназначен для статических испытаний образцов строительных материалов на сжатие.

Таблица 3.1

Техническая характеристика П-50

Параметры	Показатели
Точность измерений, %	$\pm 2$
Предельная нагрузка, тонны	10
Скорость движения поршня рабочего цилиндра, мм/мин	20
Наибольший допустимый подъем поршня, мм	50
Мощность электродвигателя, кВт	1
Габаритные размеры, мм	362x200x970
Масса, кг	342

### 3.3. Комплект образцов

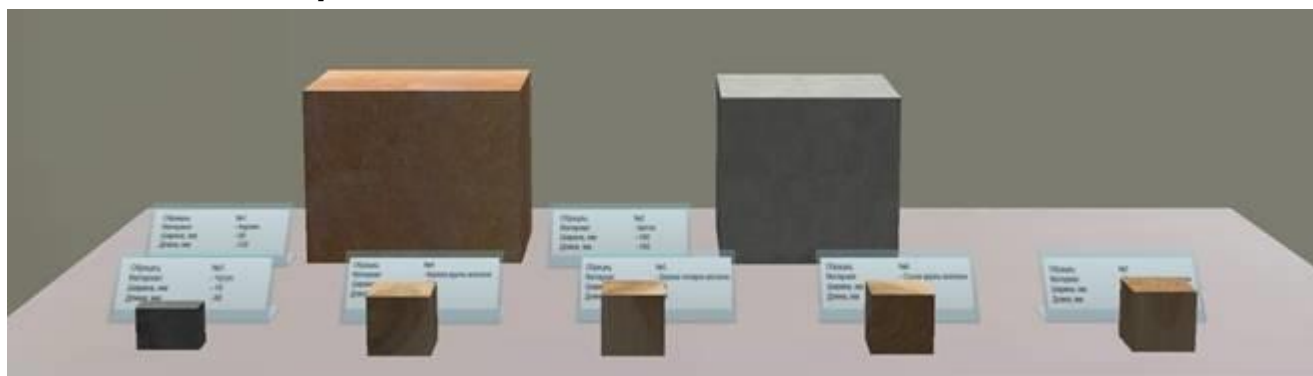


Рис. 3.6. Стол с образцами



Рис. 3.7. Пример диаграммы

#### 4. Порядок выполнения работы

Последовательность действий следующая:

1. Возьмем образец со стола.
2. Установим образец между плитами.
3. При помощи тумблера сети (рис.4.1) включим пресс в сеть. Загорится лампочка «СЕТЬ» на пульте управления прессом.



Рис. 4.1. Тумблер включения сети

4. Установим режим работы на пульте управления «НАГРУЖЕНИЕ», что будет соответствовать ходу пресса вверх. Режим «0» - работа вхолостую и передвижения пресса не будет. Режим «СБРОС» используется при разгрузке образца (обратный ход плиты пресса).
5. Включим прибор СИ-2 (рис. 3.5 1).

6. На СИ-2 с помощью кнопок выставим уровень защиты (рис. 3.5 2). Уровень защиты выставляется в кН. Если уровень защиты ниже усилия прессы, то пресс автоматически выключается. Если такое произошло, то для включения прессы нажать на кнопку «НАСОС».
7. На СИ-2 выставим скорость нагружения – разница между нагрузкой в данный момент и предыдущей. Если скорость нагружения больше установленной, то пресс автоматически выключается.
8. При включении СИ-2 горит лампочка «ПУСК», что соответствует отображению данных в реальном времени. При нажатии на кнопку (рис. 3.5 3) произойдет переключение режимов отображения – загорится лампочка «МАКС» и на панели (6) будет отображаться последнее максимальное значение напряжения. При повторном нажатии на кнопку (рис. 3.5 3) режим вернется в «ПУСК» (режим реального времени).
9. Установим скорость нагружения прессом (от 0 до 5 передач). Нажмем кнопку «НАСОС». Нижняя плита прессы начнет подниматься. Доведя образец до верхней плиты, пресс начнет раздавливать образец. Из отверстия динамографа начнет выходить динамограмма и на шкалах СИ-2 появляются данные испытания.
10. По завершению опыта пресс автоматически выключится, СИ-2 продолжает работать.
11. Установим режим работы на «СБРОС». Дождемся, пока нижняя плита придет в исходное положение, - образец можно извлекать. Положим на стол.
12. Снимем диаграмму и положим ее на стол. После того как динамограмма оказалась на столе, имеется возможность посмотреть ее (щелчок на диаграмму поднимает ее перпендикулярно перед пользователем, повторный щелчок убирает ее обратно на стол).
13. Возьмем новый образец и проводим испытания дальше.
14. Вычислить предел прочности дерева вдоль волокон по формуле:

(4.1)

$$\sigma_{\text{вс}} = \frac{F_{\text{вс}}}{A_0},$$

где  $F_{\text{вс}}$  - наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца;

$A_0$  - площадь поперечного сечения образца до начала испытания.

## 5. Отчет

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Цель и задачи работы.
2. Приборы, оборудование и обеспечение.
3. Индивидуальное задание на работу (материал образца, его эскиз и размеры).
4. Значения максимальных напряжений.
5. Графики: усилий и напряжений.
6. Вычисление основных механических характеристик.



7. Выводы (составляются соответственно цели).

## **6. Контрольные вопросы**

1. Какие механические характеристики можно определить при испытании пластичных материалов на сжатие?
2. Какие механические характеристики можно определить при испытании хрупких материалов на сжатие?
3. Для каких материалов испытание на сжатие имеет большое практическое значение?
4. Чем объясняется разрушение чугуновых образцов по плоскости, проходящей под углом  $45^\circ$  к оси образца?
5. В каком направлении дерево прочнее при сжатии?
6. Можно ли довести до разрушения деревянный образец нагрузкой, направленной поперек волокон?

## **7. Список литературы**

1. Беляев Н.М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 278с.
2. Рубашкин А.Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – М.: Высшая школа. 1971. – 240с.

Подписано в печать 14.07.21.

Электронное издание.

Издательство Современный технический университет

390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.

(4912) 300630, 30 08 30