



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра строительных материалов

## ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
и домашнего задания для студентов всех направлений подготовки,  
реализуемых НИУ МГСУ

ISBN 978-5-7264-1161-3

© НИУ МГСУ, 2015  
© Оформление.  
ООО «Ай Пи Эр Медиа», 2015

Москва 2015

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 691  
ББК 38.3  
О-75

**Р е ц е н з е н т ы :**

кандидат технических наук *О.В. Александрова*,  
доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов

Составили *М.Б. Каддо, О.Б. Ляпидевская, С.М. Пуляев,*  
*Е.А. Безуголова, И.С. Пуляев*

**О-75 Основные** свойства строительных материалов [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам для студентов всех направлений подготовки, реализуемых НИУ МГСУ / М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т, каф. строительных материалов ; сост. М.Б. Каддо, О.Б. Ляпидевская, С.М. Пуляев [и др.]. — Электрон. дан. и прогр. (4 Мб). — Москва : НИУ МГСУ, 2015. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-1161-3 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-1160-6 (локальное)

Изложены краткие теоретические сведения об основных свойствах строительных материалов. Приведены требования к оформлению лабораторных работ и выполнению домашнего задания по теме «Основные свойства строительных материалов».

Для студентов всех направлений подготовки, реализуемых НИУ МГСУ, изучающих дисциплины «Строительные материалы», «Материаловедение».

*Учебное электронное издание*

© НИУ МГСУ, 2015

© Оформление

ООО «Ай Пи Эр Медиа», 2015

Редактор *О.П. Черенков*  
Технический редактор *А.В. Кузнецова*  
Корректор *О.П. Черенков*  
Компьютерная верстка *С.С. Сизиумовой*  
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2013, приложение pdf2swf из ПО Swftools, ПО IPRbooks Reader,  
разработанное на основе Adobe Air

Подписано к использованию 18.11.2014. Уч.-изд. л. 1,24. Объем данных 4 Мб,  
1 CD-ROM. Тираж 10 экз.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет» (НИУ МГСУ).  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.  
Издательство МИСИ — МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ООО «Ай Пи Эр Медиа».  
Тел. 8-800-555-22-35, (8452) 24-77-97, вн. 208,  
E-mail: izdat@iprmedia.ru, mail@iprbookshop.ru  
www.iprbookshop.ru

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	7
<b>2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</b> .....	9
2.1. Параметры состояния материала.....	9
2.2. Гидрофизические свойства.....	12
2.3. Теплофизические свойства.....	15
2.4. Механические свойства.....	19
2.4.1. Прочностные свойства.....	20
2.4.2. Деформативные свойства.....	21
<b>3. ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</b> .....	24
3.1. Химические свойства.....	24
3.2. Физико-химические свойства.....	24
<b>4. НАДЕЖНОСТЬ</b> .....	26
<b>5. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ</b> .....	27
5.1. Лабораторная работа № 1. <i>Плотность и пористость</i> .....	27
5.2. Лабораторная работа № 2. <i>Водопоглощение и прочность материалов</i> .....	32
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	38

## ВВЕДЕНИЕ

Каждый строительный материал имеет различные названия, состав, строение (или структуру) и показатели свойств. Свойства определяют область рационального применения и возможность его сочетания с другими материалами.

Основные свойства строительных материалов зависят от их химического состава и структуры (строения).

В зависимости от химического состава строительные материалы принято делить на:

- *органические* (древесина, битумные материалы, 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 материалы, напротив, имеют значительно более высокие температуры применения, а металлы хорошо проводят электрический ток и тепло.

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 конструкционные материалы:

- 1) природные каменные материалы (например гранит, базальт, известняк, песчаник, мрамор);
- 2) искусственные каменные материалы, получаемые на основе минеральных вяжущих веществ без обжига (например бетоны, строительные растворы);
- 3) искусственные каменные материалы, получаемые обжигом минерального сырья (например керамические кирпичи и камни, стекло);

- 4) металлы (например сталь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др.);
- 5) конструкционные пластмассы (например стеклопластики);
- 6) материалы из древесины.

**Вторая группа** объединяет строительные материалы специального назначения. Они необходимы для защиты конструкций от вредных воздействий окружающей среды, создания комфорта, а также для повышения надежности зданий при эксплуатации. К ним относятся строительные материалы:

- 1) теплоизоляционные (например минеральная вата, пенопласты, ячеистые бетоны, пеностекло);
- 2) акустические (например легкие и ячеистые бетоны, пористые пластмассы, изделия из древесины, тканевые и мембранные материалы на основе минеральных и органических волокон);
- 3) кровельные и гидроизоляционные (например рулонные битумные материалы, полимерные пленки и мембраны, битумные и полимерные и битумно-полимерные мастики);
- 4) герметизирующие (например герметики на основе полиуретанов и кремнийорганических соединений);
- 5) отделочные (например лакокрасочные, облицовочные материалы);
- 6) антикоррозионные (например мастики на основе битумных и полимерных композиций) и др.

# 1. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Строительные материалы характеризуются химическим и минеральными составами.

**Химический состав** определяет содержание в материале химических элементов или их оксидов и позволяет оценить свойства материала: например огнестойкость, биостойкость, а также механическую прочность и другие характеристики.

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

Строение материала изучают на трех уровнях: на макроуровне; микроуровне; на молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгенографического анализа, электронной микроскопии и т.п.

**Структура или строение материалов.** Под структурой материалов подразумевают взаимное расположение, форму и размеры частиц материала, пор, их размер и характер. Различают **микроструктуру** — строение материала, видимое только под микроскопом, и **макроструктуру** — строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении.

Макроструктура может быть следующих типов: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая или порошкообразная.

*Конгломератная структура* характерна для материалов, зерна которых соединены цементирующим веществом. Это характерно для некоторых природных каменных материалов, бетона и др.

*Ячеистая структура* характеризуется наличием макропор: например в газо- и пенобетонах, ячеистых стекле и пластмассах.

Мелкопористая структура свойственна, например, цементному камню, мелкозернистым бетонам, керамическим материалам, полученным способами высокого водозатворения или введения выгорающих добавок.

*Волокнистая и слоистая структура* характерна для материалов, состоящих из волокон; слоистая — из слоев. Волокнистая структура присуща древесине, изделиям из минеральной ваты и др. Слоистую структуру имеют листовые, плитные материалы (например фанера, пластики).

Для волокнистых и слоистых материалов характерно явление *анизотропии*, то есть наличие различных свойств в разных направлениях.

*Рыхлозернистая структура* характерна для материалов, состоящих из отдельных, несвязанных зерен (песок, гравий и др.).

Микроструктура веществ, составляющих материал, может быть *кристаллической и аморфной*.

**Кристаллическими** называют материалы, состоящие из кристаллов (минералов), в каждом из которых расположение атомов, ионов, молекул имеет присущую ему кристаллическую решетку и трехмерную периодичность во всем объеме (в дальнем порядке).

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

Неодинаковое строение кристаллических и аморфных веществ определяет и различие в свойствах. Аморфные вещества химически более активны, чем кристаллические такого же состава. Существенное различие между аморфными и кристаллическими веществами состоит в том, что кристаллические вещества при нагревании (при постоянном давлении) имеют определенную 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, твердость и другие важные свойства материала.



## 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Физико-механические свойства зависят от состава, структуры материала и являются показателями качества. Они характеризуют его поведение под действием физических факторов (нагрузки, воды, высоких и низких температур и т.п.).

### 2.1. ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА

Каждый строительный материал имеет параметры состояния в момент его осмотра или исследования. К ним относятся: плотность, пористость и влажность.

**Плотность**  $[\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  — физическая величина, определяемая массой единицы объема материала.

Любой материал состоит из твердого вещества и пор (за исключением абсолютно плотных материалов: например металлов). Поэтому объем материала в естественном состоянии ( $V_e$ ) складывается из объема вещества в абсолютно плотном состоянии ( $V_a$ ) и объема пор ( $V_p$ ):

$$V_e = V_a + V_p.$$

**Истинная плотность  $\rho$**   $[\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  — масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (без пор, пустот, трещин и т.п.):

$$\rho = m/V_a. \quad (1)$$

Таким образом, истинная плотность характеризует твердый каркас материала и является его постоянной величиной.

**Средняя плотность материала  $\rho_m$**   $[\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  — масса единицы объема материала в естественном состоянии (т.е. с учетом пор, пустот, трещин и т.п.):

$$\rho_m = m/V_e. \quad (2)$$

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

Для сыпучих материалов (песка, щебня, гравия, цемента и т.п.) иногда используется понятие «насыпной плотности».

**Насыпная плотность  $\rho_n$**  [г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>] — масса единицы объема рыхло насыпанных зернистых материалов (с учетом пор в каждом зерне и межзерновых пустот).

Часто среднюю плотность материала относят к плотности воды при температуре 4 °С, равной 1 г/см<sup>3</sup> или 1000 кг/м<sup>3</sup>, и тогда получается безразмерная величина, которую называют **относительной плотностью  $d$** :

$$d = \rho_m / \rho_{\text{воды}}. \quad (3)$$

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью, распределением пор по их диаметрам и удельной поверхностью пор.

**Пористость  $\Pi$**  [%] — степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = V_n / V_e. \quad (4)$$

Обычно пористость рассчитывают, исходя из средней и истинной плотности материала:

$$\Pi = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100 \%. \quad (5)$$

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

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 до 90...98 % (см. табл. 1).

Таблица 1

**Истинная плотность, средняя плотность и пористость некоторых строительных материалов**

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Пористость, %
	истинная	средняя	
Сталь	7800...7900	7800...7900	0
Гранит	2700...2800	2700...2800	0,5...1

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Пористость, %
	истинная	средняя	
Тяжелый 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
Тяжелый 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

**Открытая пористость  $\Pi_0$**  — отношение суммарного объема всех пор, насыщающихся водой ( $V_{\text{воды}}$ ), к объему материала в сухом состоянии ( $V_{\text{сух}}$ ):

$$\Pi_0 = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{сух}}} = \frac{(m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}})}{V_e \cdot \rho_{\text{воды}}} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где  $m_{\text{нас}}$  — масса материала в водонасыщенном состоянии [г, кг];  
 $m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала [г, кг].

Открытые поры сообщаются между собой и с окружающей средой, поэтому при погружении образцов материала в воду они насыщаются водой. Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость.

**Закрытая пористость  $\Pi_3$**  характеризует объем замкнутых, не сообщающихся между собой и с окружающей средой пор:

$$\Pi_3 = \Pi - \Pi_0. \quad (7)$$

Увеличение объема закрытых пор в материале способствует снижению его водопоглощения, повышению морозостойкости и долговечности материала.

Таким образом, от пористости зависят: водопоглощение, теплопроводность, акустические свойства, морозостойкость, прочность и др.

В ряде случаев для технических расчетов определяют **коэффициент плотности  $K_{\text{пл}}$**  [%], характеризующий степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{пл} = \frac{\rho_m}{\rho} \cdot 100 \%. \quad (8)$$

**Влажность  $W$  [%]** — содержание влаги в материале в данный момент, отнесенное к единице массы материала в сухом состоянии:

$$W = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где  $m_{вл}$  — масса материала в естественном состоянии [г, кг];  
 $m_{сух}$  — масса материала, высушенного до постоянной массы [г, кг].

## 2.2. ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Гидрофизические свойства определяют отношение материала к действию воды и водяного пара.

**Гигроскопичность  $H$  [%]** — свойство материала поглощать водяной пар из воздуха:

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

где  $m_{вл}$  — масса увлажненного образца [г, кг];  
 $m_{сух}$  — масса образца после высушивания [г, кг].

Поглощение влаги из воздуха обусловлено адсорбцией водяного пара на внутренних поверхностях пор и капиллярной конденсацией. Этот процесс называется **сорбцией**. Древесина, теплоизоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью.

**Водопоглощение (%)** — способность материала поглощать и удерживать воду после водонасыщения.

Водопоглощение выражают отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (**водопоглощение по массе  $W_m$** ) или степени заполнения объема материала водой (**водопоглощение по объему  $W_o$** ).

Водопоглощение  $W_m$  и  $W_o$  определяют по формулам:

$$W_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \% = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \%;$$
 (11)

$$W_o = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{сух}}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}} \cdot \rho_{\text{воды}}} \cdot 100 \% = W_m \cdot d,$$
 (12)

где  $m_{\text{нас}}$  — масса материала в насыщенном водой состоянии [г];

$m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала [г];

$V_{\text{сух}}$  — объем материала в сухом состоянии [см<sup>3</sup>];

$\rho_{\text{воды}}$  — плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

$d$  — относительная плотность материала.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивается средняя плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость уменьшаются.

**Коэффициент насыщения пор водой  $K_n$**  — отношение водопоглощения по объему к общей пористости материала:

$$K_n = W_o / \Pi.$$
 (13)

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 объему равно пористости. Уменьшение  $K_n$  (при постоянной общей пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости и повышении морозостойкости материала.

**Водонепроницаемость** — способность материала не пропускать воду под давлением.

Водонепроницаемость материала (например бетона) характеризуется **маркой по водонепроницаемости**, обозначающей одностороннее гидростатическое давление (в атм = кгс/см<sup>2</sup>), при котором бетонный образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания. Марка по водонепроницаемости обозначается: W2, W4, W6 ... W24.

**Водостойкость** — способность материала, насыщенного водой, сохранять свою прочность. Водостойкость материала характеризуется **коэффициентом размягчения**:

$$K_p = R_{\text{нас}} / R_{\text{сух}},$$
 (14)

где  $R_{\text{нас}}$  — предел прочности материала в насыщенном водой состоянии [МПа];

$R_{\text{сух}}$  — предел прочности материала в сухом состоянии [МПа].

Коэффициент размягчения  $K_p$  определяется для материалов несущих конструкций. Материал считается водостойким при  $K_p \geq 0,8$ . В этом случае их разрешается применять в местах с повышенной влажностью без специальных мероприятий по защите от увлажнения.

### ***Паропроницаемость и сопротивление паропроницанию.***

Паропроницающая способность материала характеризуется паропроницаемостью и сопротивлением паропроницанию.

**Паропроницаемость** — величина, численно равная количеству водяного пара (в мг), проходящего за 1 ч через слой материала площадью 1 м<sup>2</sup> и толщиной 1 м при условии, что температура воздуха у противоположных сторон слоя одинаковая, а разность парциальных давлений водяного пара равна 1 Па.

**Сопротивление паропроницанию  $R_n$**  [м<sup>2</sup>·ч·Па/мг] — показатель, характеризующий разность парциальных давлений водяного пара (в Па) у противоположных сторон изделия с плоскопараллельными сторонами, при которой через изделие площадью 1 м<sup>2</sup> за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон изделия; величина, численно равная отношению толщины слоя испытуемого материала к значению паропроницаемости.

**Влажностные деформации** — изменение размеров и объема материала при изменении влажности.

**Усадка (усушка)** — уменьшение размеров и объема материала при его высыхании [мм/м, %].

**Набухание (разбухание)** — увеличение размеров и объема материала при увлажнении или полном насыщении материала водой [мм/м, %].

Влажностные деформации вызывают растрескивание и оказывают отрицательное влияние на материал конструкции. Показатели, например, усадки цементных материалов (бетонов, растворов) нормативно ограничивают.

**Морозостойкость** — способность материала в водонасыщенном состоянии выдерживать циклы многократного замораживания и оттаивания без внешних признаков разрушения, снижения массы и прочности свыше нормативных значений.

Морозостойкость может быть также определена ускоренными методами, например насыщением материалов в растворах солей.

В зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания, которые выдержал материал, устанавливается его **марка по морозостойкости** (*F15, F25, F35, F50, F100, F125, F150, F175, F200, F300, F400, F500* и более).

Один цикл испытания включает замораживание насыщенного водой образца в течение 4 ч при температуре  $-18 \pm 2$  °С в морозильной камере с последующим оттаиванием при температуре  $+18...20$  °С в воде.

Разрушение при таких циклических воздействиях знакопеременных температур связано как с появлением в нем растягивающих напряжений при образовании льда в порах материала, так и со всесторонним гидростатическим давлением воды. Увеличение объема при образовании льда составляет около 9 %.

Морозостойкость зависит главным образом от структуры материала — объема открытых пор, величины общей пористости, равномерности распределения пор по объему материала и их размеров.

Срок службы строительных материалов и конструкций, подвергающихся действию знакопеременных температур и воды, во многом обусловлен их морозостойкостью.

### 2.3. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Теплофизические свойства материала обеспечивают поддержание комфортной температуры в жилых зданиях и требуемого теплового режима на промышленных объектах, в трубопроводах и т.п.

**Теплоемкость  $C$**  [Дж/(кг·°С)] — способность материала поглощать тепло при нагревании.

Показателем теплоемкости служит **удельная теплоемкость  $c$** , равная количеству теплоты, необходимой для нагревания материала массой 1 кг на 1 °С:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}, \quad (15)$$

где  $Q$  — количество теплоты [Дж];

$m$  — масса материала [кг];

$\Delta t$  — повышение температуры [°С].

Теплоемкость неорганических строительных материалов, например бетона, кирпича, природных каменных материалов, находится в пределах от 0,75 до 0,92 кДж/(кг·°С); теплоемкость стали — 0,48 кДж/(кг·°С); древесины — 2,39...2,72 кДж/(кг·°С). Наибольшую теплоемкость имеет

вода — 4,19 кДж/(кг·°С), поэтому с увеличением влажности материалов теплоемкость увеличивается. Это приводит к повышению затрат на отопление жилых зданий.

**Теплопроводность** — способность материала передавать тепло от одной поверхности к другой.

Теплопроводность материала характеризуется **коэффициентом теплопроводности**  $\lambda$  [Вт/(м·°С)] — количеством теплоты, 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:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot \Delta t \cdot \tau}, \quad (16)$$

где  $Q$  — количество теплоты [Дж];

$\delta$  — толщина материала [м];

$A$  — площадь поверхности [м<sup>2</sup>];

$\Delta t$  — разность температур [°С];

$\tau$  — продолжительность прохождения тепла [с].

Теплопроводность материала зависит от его пористости и влажности. С повышением пористости теплопроводность материала снижается, т.к. в порах содержится воздух, теплопроводность которого невелика:  $\lambda_{\text{возд}} = 0,024$  Вт/(м·°С).

При увлажнении материала его теплопроводность, наоборот, резко увеличивается, т.к. по сравнению с воздухом вода в 25 раз лучше пропускает тепло:  $\lambda_{\text{воды}} = 0,58$  Вт/(м·°С).

Теплопроводность некоторых строительных материалов представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Теплопроводность строительных материалов**

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
Сталь	50...58
Гранит	2,9...3,3
Бетон тяжелый	1,28...1,55
Кирпич керамический полнотелый	0,81...0,87
Бетон легкий	0,35...0,8
Пенобетон	0,12...0,15



Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
Фибролит	0,09...0,17
Минеральная вата	0,05...0,08
Древесноволокнистые плиты	0,046...0,08
Пенопласты	0,03...0,05

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

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16. \quad (17)$$

**Тепловое расширение** — свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении. Оно характеризуется температурным коэффициентом линейного расширения.

**Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР)** характеризует удлинение материала при нагревании его на 1 °С. Коэффициенты температурного линейного расширения у разных материалов значительно отличаются (см. табл. 3).

Таблица 3

**Температурный коэффициент линейного расширения  
строительных материалов**

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

При пожаре может произойти обрушение конструкций и ущерб достигает максимальных значений. Следовательно, огнестойкость обеспечивает противопожарную защиту и повышает надежность строительных объектов при эксплуатации.

**Огнестойкость** — это способность конструкций и зданий сопротивляться воздействию пожара во времени. Характеристикой огнестойкости является предел огнестойкости.

Стандартные температурные режимы пожара представлены в табл. 4 в соответствии с нормами РФ, *ASTM-E 119* (США) и Евросоюза, например *BS* (Англия).

**Предел огнестойкости** строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или нескольких видов предельных состояний: потери несущей способности (*R*); потери целостности (*E*); потери теплоизолирующей способности (*I*).

Значение предела огнестойкости конкретной конструкции включает в себя условное обозначение предельного состояния и цифру, соответствующую периоду времени (в мин) достижения того или иного предельного состояния. Показатель при обозначении предела огнестойкости должен соответствовать числу 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360. Например, если предел огнестойкости фрагмента стены толщиной 100 мм из газобетона составляет 150 мин, то его обозначение будет *REI 150*.

Огнестойкость конструкции зависит от состава, структуры, строительных материалов.

Таблица 4

Стандартные температурные режимы пожара

Время, мин	Избыточная температура, °С		
	СТ СЭВ 1000-78	<i>ASTM-E 119</i> (США)	<i>BS 476 Part</i> (Англия)
5	556	538	583
10	659	704	583
15	718	760	—
30	821	843	846
45	875	892	—
60	925	927	950
90	986	978	—
120	1029	1010	1054
150	1060	1031	—
180	1090	1052	—
240	1133	1093	1157
360	1193	1177	—

**Горючесть** — способность материала выдерживать без разрушения действие высоких температур и открытого пламени. В зависимости от значений параметров горючести строительные материалы подразделяют на *негорючие* (НГ) и *горючие* (Г).

Материалы относят к негорючим при следующих значениях параметров горючести:

- прирост температуры в печи не более 50 °С;
- потеря массы образца не более 50 %;
- продолжительность устойчивого пламенного горения не более 10 с.

Строительные материалы, не удовлетворяющие хотя бы одному из указанных значений параметров, относятся к горючим.

Горючие строительные материалы в зависимости от значений параметров горючести подразделяют на четыре *группы горючести*: Г1, Г2, Г3, Г4 ( см. табл. 5).

Таблица 5

### Группы горючести строительных материалов

Группа горючести материалов	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов $T$ , °С	Степень повреждения по длине $S_L$ , %	Степень повреждения по массе $S_m$ , %	Продолжительность самостоятельного горения $t_{с.з.}$ , с
Г1	≤135	≤65	≤20	0
Г2	≤235	≤85	≤50	≤30
Г3	≤450	>85	≤50	≤300
Г4	>450	>85	>50	>300

Примечание. Для материалов групп горючести Г1—Г3 не допускается образование горящих капель расплава при испытании

**Огнеупорность** — способность материала выдерживать длительное воздействие температур выше 1580 °С, не размягчаясь и не деформируясь.

Материалы, выдерживающие температуру более 1580 °С, называют *огнеупорными*, от 1350 до 1580 °С — *тугоплавкими*, ниже 1350 °С — *легкоплавкими*. Материалы, которые способны длительное время выдерживать температуру до 1000 °С при незначительной потере прочности, относят к *жаростойким* (например керамический кирпич, жаростойкий бетон и др.).

## 2.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Необходимые и стабильные механические свойства материала гарантируют надежную работу при эксплуатации конструкций и строительных объектов. Они позволяют материалу конструкций со-

противляться силовым нагрузкам и деформациям. Их подразделяют на прочностные (предел прочности, твердость, истираемость) и деформативные (упругость, пластичность, хрупкость, усадку, ползучесть).

### 2.4.1. Прочностные свойства

**Прочность** [МПа, кгс/см<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>] — способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, возникающих под действием внешних сил.

Прочность оценивается *пределом прочности*. В зависимости от воздействия различают пределы прочности при сжатии, растяжении, растяжении при изгибе, растяжении при раскалывании, сдвиге, кручении и др.

**Предел прочности при сжатии** [МПа] равен отношению разрушающей нагрузки к площади ее приложения.

Определяется по формуле:

$$R_c = \frac{F}{A}, \quad (18)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка [Н, кН];

$A$  — площадь приложения нагрузки [м<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>].

**Предел прочности на растяжение при изгибе** [МПа] определяется по формуле:

$$R_{и} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Fl}{bh^2}, \quad (19)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка [Н, кН];

$l$  — расстояние между опорами [м, см];

$b$  — ширина образца [м, см];

$h$  — высота образца [м, см].

Прочность материала определяют на образцах, форму и размеры которых устанавливают стандарты.

В зависимости от показателя прочности строительные материалы характеризуются **маркой** (например цементы, керамические и силикатные кирпичи и др.) или **классом** (например цементы, бетоны). Примеры обозначения:

- марки кирпича по прочности: М50, М75, М100, М125, М150, М175 ...;
- классы бетона по прочности: В3,5; В5; В7,5; В10 ... В60.

Для оценки эффективности материала часто используют показатель, называемый удельной прочностью.

**Удельная прочность** — это отношение предела прочности при сжатии  $R_c$  (изгибе  $R_{и}$ ) к относительной плотности материала  $d$ :

$$R_{уд} = K_{к.к.} = R/d. \quad (20)$$

Раньше удельная прочность называлась **коэффициентом конструктивного качества  $K_{к.к.}$** .

**Твердость** [МПа] — способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого материала.

Твердость различных материалов определяется по разным методикам. Так, *твердость минералов и горных пород* оценивается по шкале Мооса, содержащей 10 минералов; показатель твердости изменяется в пределах от 1 (тальк) до 10 (алмаз). Минерал, имеющий больший порядковый номер, оставляет черту на предыдущем.

Для определения *твердости бетона, кирпича, пластмасс, металлов* и др. в поверхность материала вдавливаются металлические или алмазные шарик, конус или пирамидка. Для проведения контроля твердости материалов используют приборы-твердомеры, определяющие твердость по методам Бринелля, Виккерса, Роквелла и Шора. В таких случаях твердость материала определяется отношением нагрузки к площади отпечатка.

**Истираемость И** [г/см<sup>2</sup>] — свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания:

$$И = \frac{m_1 - m_2}{A}, \quad (21)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — масса образца до и после истирания [г];  
 $A$  — площадь поверхности истирания [см<sup>2</sup>].

#### 2.4.2. Деформативные свойства

Срок службы строительных зданий и сооружений рассчитан на 30, 50, 100 и более лет. За годы их эксплуатации происходят различные деформации. Они связаны с нагрузками от массы стен, перекрытий,

покрытий, оборудования и т.п., а также с изменениями температуры и влажности окружающей среды и материала конструкций. При разработке, проектировании материалов и расчете конструкций деформационные изменения необходимо обязательно учитывать. Так, например, при строительстве устраивают деформационные швы.

При статических воздействиях в материалах конструкций возникают упругие, пластические и хрупкие деформации, а также деформации усадки и ползучести.

**Упругость** — способность материала деформироваться под действием нагрузки и восстанавливать свою форму и размеры после ее снятия.

Упругие деформации являются обратимыми. К упругим материалам относятся каучук, резина.

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

$$E = \sigma/\varepsilon, \quad (22)$$

где  $\sigma$  — напряжение [МПа];

$\varepsilon$  — относительная деформация.

**Пластичность** — способность материала деформироваться под действием нагрузки не разрушаясь и сохранять остаточную деформацию после ее снятия.

Пластическая деформация необратима. Примерами пластичного материала служат битумы (при положительных температурах), некоторые виды пластмасс, сталь, бетонные и растворные смеси.

**Хрупкость** — свойство материала разрушаться без заметных пластических деформаций.

К материалам, имеющим хрупкий характер разрушения, относятся стекло, бетон, кирпич.

Под действием окружающей среды, при изменении влажности материала могут возникать деформации усадки. Они могут быть вызваны уменьшением влажности (усушкой) материала или контракцией, карбонизацией в цементных системах.

**Усадка** [мм/м] — уменьшение размеров материала в течение времени, чаще всего при уменьшении влажности.

**Ползучесть** [мм/м] — увеличение деформации материала под действием постоянной статической нагрузки в течение времени.

Показателем ползучести служит мера ползучести или удельная относительная деформация ползучести.

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

## 3. ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 3.1. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Для строительных материалов важно, чтобы они обладали способностью сохранять свой химический состав и структуру при воздействии окружающей среды.

**Химическая стойкость** — способность материала сопротивляться воздействию агрессивных сред: кислот (кислотостойкость), щелочей (щелочестойкость), растворенных в воде солей (солестойкость) и газов.

Изменение состава и строения материалов под воздействием внешней агрессивной среды называется **коррозией**.

**Коррозионная стойкость** — способность материала сопротивляться коррозии.

Химическая и коррозионная стойкость оцениваются по степени снижения прочностных показателей и др. свойств.

### 3.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Для строительных материалов, которые получают после смешивания твердых компонентов с водой (цементное тесто, штукатурные и кладочные растворы, бетоны и др.), важное значение имеют адгезия, тиксотропия. Эти физико-химические явления происходят в пластично-вязких смесях после смачивания твердых частиц водой. Без таких явлений твердение, например, цементных, известковых, гипсовых систем невозможно.

**Адгезия** [МПа] — прочность прилипания жидкой фазы или пластично-вязких смесей (раствора, мастики, краски и др.) к поверхности твердого основания (или подложки).

Адгезия наносимого на поверхность основания (или подложки) материала зависит от их природы, формы и состояния поверхности, условий контакта и др. Адгезия характеризуется силой, необходимой для разделения поверхностей.

**Прочность сцепления** [МПа] — прочность контакта затвердевшего нанесенного слоя раствора или другого твердого тела с поверхностью твердого основания (подложки).



**Тиксотропия** — способность пластично-вязких смесей (бетона, раствора) обратимо разжижаться от механического воздействия и восстанавливать прежнее состояние в состоянии покоя.

Физическая основа тиксотропии — восстановление структурных связей внутри пластично-вязкой смеси после прекращения механического воздействия. Это свойство имеет большое значение для проведения кладочных, штукатурных, бетонных работ на строительной площадке, а также на заводах по производству сборных железобетонных изделий.

## 4. НАДЕЖНОСТЬ

Конструкции, здания и сооружения выполняются из строительных материалов и должны иметь высокую надежность. Следовательно, строительные материалы являются неотъемлемой составной частью любого строительного объекта.

**Надежность** (*Dependability*) — это комплексное свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания. Она складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости.

**Безотказность** (*Reliability, Failure-free operation*) — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение всего периода эксплуатации.

**Долговечность** (*Durability, Longevity*) — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при предусмотренном техническом обслуживании и ремонте (срок службы).

Например, для железобетонных и каменных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I соответствует сроку не менее 100 лет; II — 50 лет; III — 20 лет.

**Ремонтпригодность** (*Maintainability*) — свойство объекта к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния при техническом обслуживании и ремонте.

**Сохраняемость** (*Storability*) — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров при выполнении требуемых функций.

## 5. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### 5.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ПЛОТНОСТЬ И ПОРИСТОСТЬ

**Задание:** определить истинную и среднюю плотность образцов строительных материалов и рассчитать их пористость и коэффициент плотности.

**Цель:** ознакомиться с понятиями *истинной* и *средней плотности*, методами определения *истинной* и *средней плотности* для образцов правильной и неправильной геометрической формы, научиться рассчитывать значения *пористости* и *коэффициента плотности* различных материалов.

#### Определение истинной плотности

**Методика:** вытеснение инертной жидкости порошком исследуемого материала и определение массы испытанного инертного материала.

**Оборудование:** колба-объеммер (колба Ле Шателье), весы технические, стеклянная палочка, стеклянный (фарфоровый) стакан.

**Инертная жидкость:** вода.

**Температура жидкости:** 20 °С.

**Материалы:** навеска тонкоизмельченного порошка керамического кирпича.

**Масса порошка до испытания:** определяется взвешиванием.

**Объем вытесненной жидкости:** 20 см<sup>3</sup>.

**Масса остатка порошка:** определяется взвешиванием.

**Масса порошка, засыпанного в объеммер:** рассчитывается как разность между массой порошка до испытания и массой остатка порошка.

**Истинная плотность  $\rho$ :** определяется по формуле (1).

#### Ход работы

Пробу тонкоизмельченного кирпича, размер частиц которой менее размера пор в кирпиче, массой около 100 г помещают в стаканчик и взвешивают на весах с погрешностью не более 0,05 г ( $m_1$ ).

В объеммер (рис. 1) наливают воду до нижней риски, нанесенной на горле колбы. Горло объеммера подсушивают фильтровальной бумагой. Затем навеску порошка кирпича с помощью стеклянной палочки осторожно пересыпают в объеммер до тех пор, пока уровень воды не поднимется до верхней риски (при этом потери по-

рошка недопустимы). Объем засыпанного порошка  $V_a$  равен объему, занимаемому водой между верхней и нижней рисками объеммера ( $20 \text{ см}^3$ ).

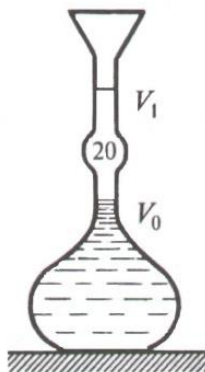


Рис. 1. Колба-объеммер (колба Ле Шателье)

Массу порошка, засыпанного в объеммер [г], определяют по формуле:

$$m = m_1 - m_2,$$

где  $m_1$  — масса порошка до испытания;

$m_2$  — масса остатка порошка.

Истинная плотность рассчитывается по формуле (1).

#### **Пример**

Масса порошка до испытания  $m_1$ : 108,8 г.

Объем вытесненной жидкости  $V_a$ :  $20 \text{ см}^3$ .

Масса остатка порошка  $m_2$ : 55,3 г.

Масса порошка, засыпанного в объеммер,  $m$ : 53,5 г.

Истинная плотность:  $\rho = m/V_a = 53,5/20 = 2,68 \text{ г/см}^3$  или  $2680 \text{ кг/м}^3$ .

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

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

### *Ход работы*

*Для образцов правильной геометрической формы.*

Образцы древесины, пенопласта и керамического кирпича измеряют линейкой с погрешностью 1 мм и рассчитывают объем образцов  $V_e$  [см<sup>3</sup>] по формуле:

$$V_e = a \cdot b \cdot h,$$

где  $a$  и  $b$  — стороны образца,  $h$  — высота образца [см].

Затем определяют массу образцов  $m$  с погрешностью 0,5 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), а затем переводят ее в кг/м<sup>3</sup>, умножая полученное значение на 1000. Полученные данные заносят в табл. 2 лабораторного журнала.

*Для образцов неправильной геометрической формы.*

Объем образцов неправильной геометрической формы невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений. Для определения объема в данной лабораторной работе используют **метод гидростатического взвешивания**, основанный на законе Архимеда: образец погружают в воду и затем оценивают его объем по объему вытесненной образцом воды.

Образец подвешивают на тонкой проволочке к коромыслу технических весов и определяют его массу  $m$ . Затем образец, не снимая с весов, погружают в воду, используя приспособление для гидростатического взвешивания (рис. 2), и определяют массу образца в воде  $m_1$ .

По результатам двух последних взвешиваний рассчитывают естественный объем образца  $V_e$  [г/см<sup>3</sup>]:

$$V_e = \frac{m - m_1}{\rho_{\text{воды}}},$$

где  $\rho_{\text{воды}} = 1$  г/см<sup>3</sup>.

Среднюю плотность  $\rho_m$  рассчитывают по формуле (2).

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

*Примечание:* если образец обладает высокой пористостью, то перед испытанием необходимо насытить его водой, для того чтобы исключить поглощение воды образцом при испытании. Образец взвешивают в сухом состоянии  $m_{\text{сух}}$ . Далее образец постепенно заливают водой

и периодически (через 1...2 мин) взвешивают; перед взвешиванием образец обтирают влажной тканью. Закачивают 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:  $m = m_{\text{нас}}$ .

В данном случае естественный объем образца  $V_e$  рассчитывают по формуле:

$$V_e = \frac{m_{\text{нас}} - m_1}{\rho_{\text{воды}}},$$

где  $\rho_{\text{воды}} = 1 \text{ г/см}^3$ .

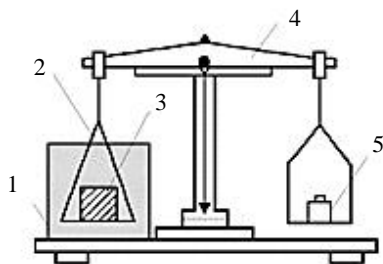


Рис. 2. Весы для гидростатического взвешивания:

1 — сосуд с водой; 2 — подвес для образца; 3 — образец; 4 — весы; 5 — разновес

### Пример

Таблица 1

#### Результаты испытаний

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	—	—
Объем $V_e$ , см <sup>3</sup>	95,18	658,03	1696,32	—	—
Масса образца в воде $m_1$ , г	—	—	—	82,16	40,1

Показатели, размерность	Форма образца				
	правильная			неправильная	
	Древесина	Пенопласт	Кирпич керам.	Сталь	Гранит
Масса вытесненной воды $m_v = m - m_1$ , г	—	—	—	12,34	23,4
Объем вытесненной воды (образца) $V_e = m_v / \rho_{\text{воды}}$ , 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

Расчетная формула:  $\rho_m = m/V_e$ .

### Расчет пористости и коэффициента плотности

**Ход работы:** используя рассчитанные значения истинной плотности кирпича и данные таблицы (см. табл. 1 лабораторного журнала), а также учитывая рассчитанные значения средней плотности (см. табл. 2 лабораторного журнала), рассчитывают пористость  $\Pi$  [%] и коэффициент плотности  $K_{пл}$  [%] керамического кирпича, древесины, гранита и пенопласта по формулам (5) и (8).

При этом учитывают, что  $\Pi + K_{пл} = 1$  (или 100%).

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

### Пример

Таблица 2

### Результаты расчетов 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:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100 \%, \quad K_{пл} = \frac{\rho_m}{\rho} \cdot 100 \%$$

## 5.2. 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 водой до постоянной массы.

**Оборудование:** весы, секундомер, фарфоровая чашка и пр.

**Материал:** керамический кирпич.

**Масса сухого образца  $m_{\text{сух}}$ :** определяется взвешиванием.

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

Образец керамического кирпича взвешивают на лабораторных весах и определяют массу сухого образца  $m_{\text{сух}}$ . 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, обтирают влажной тканью, чтобы удалить излишки воды с поверхности образца, снова взвешивают и определяют приращение массы  $\Delta m$ :

$$\Delta m = m_i - m_{\text{сух}},$$

где  $m_i$  — масса образца после выдерживания в воде, г.

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, обмакивают влажной тканью, взвешивают и вновь определяют приращение массы  $\Delta m$ .

Аналогичные испытания проводят, погружая образец в воду на три четверти от его высоты, повторяют взвешивание и определяют приращение по массе.



Затем образец вновь помещают в фарфоровую чашку и заливают водой на полную высоту, взвешивают и вновь определяют приращение массы  $\Delta m$ .

Схема испытания представлена на рис. 3.

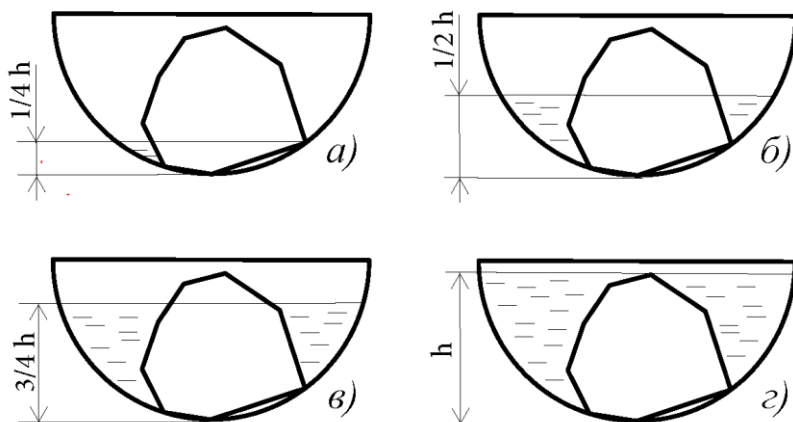


Рис. 3. Схема испытания образца на водопоглощение:

*a* — 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; *з* — то же на полную высоту образца

По полученным значениям определяют водопоглощение по массе  $W_m$  и водопоглощение по объему  $W_o$ , используя формулы (11) и (12) соответственно.

Далее по результатам расчетов проводят оценку морозостойкости материала, исходя из взаимосвязи морозостойкости и коэффициента насыщения пор водой  $K_n$ . Как известно, чем больше в материале открытых пор, тем ниже его морозостойкость. По значению  $K_n$ , которое варьируется от 0 (все поры замкнуты) до 1 (все поры открыты), условно можно оценивать морозостойкость. Коэффициент насыщения пор водой  $K_n$  рассчитывается по формуле (13).

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

## Пример

Таблица 3

### 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 $\Delta m = m_i - m_{\text{сух}}$ , г	0,7	1,0	1,3	1,4
Водопоглощение по массе $W_m$ , %	—	—	—	11,2
Водопоглощение по объему $W_o$ , %	—	—	—	21,5
Коэффициент насыщения пор, $K_n$	—	—	—	0,78

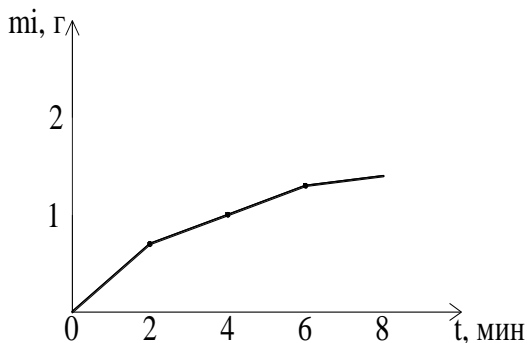


Рис. 4. График зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой

Формулы:

$$W_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \% ; W_o = W_m \cdot d ; K_n = \frac{W_o}{\Pi} ; d = \frac{\rho_m}{\rho_{\text{воды}}}$$

Взаимосвязь  $K_n$  и морозостойкости: при  $K_n \leq 0,6$  материал считается морозостойким, при  $0,6 < K_n < 0,8$  материал считается сомнительно морозостойким, при  $K_n \geq 0,8$  материал считается неморозостойким.

Вывод: морозостоек ли материал по значению  $K_n$ ? Данный материал обладает сомнительной морозостойкостью.

### 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 гипсового камня.

*Ход работы:* образцы-кубы нумеруют (порядковый номер ставят на грани, перпендикулярной плоскости укладки вяжущего при формировании), измеряют площадь пронумерованной поверхности и заносят полученные значения в таблицу (см. табл. 5 лабораторного журнала). Один из образцов помещают в воду перед испытанием на 15 мин.

Сухой и влажный образцы помещают в пресс пронумерованной (боковой) гранью вверх. Затем опускают плиту пресса до поверхности образца и производят нагружение 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  $P$ .

Внешний вид образца до и после испытаний представлен на рис. 5. После испытания образец имеет форму, характерную для хрупкого разрушения (две усеченные пирамиды, сложенные меньшими основаниями).

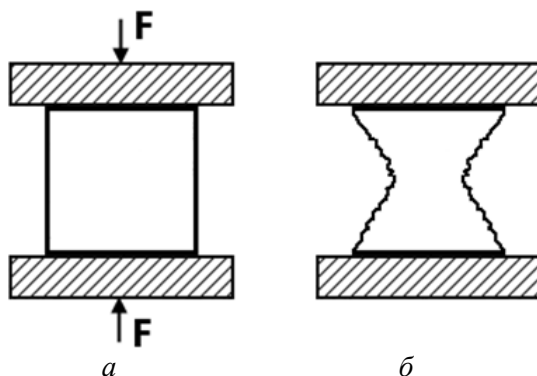


Рис. 5. Внешний вид образца:  
 $a$  — до испытания;  $b$  — после испытания

Предел прочности при сжатии рассчитывают по формуле (18).

Водостойкость испытуемого материала оценивают по коэффициенту размягчения, определяемому по формуле (14).

Материал считается водостойким при значении  $K_p > 0,8$ .

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

### Пример

Таблица 4

#### Результаты испытаний

Показатели, размерность	Образец	
	сухой	водонасыщенный
Размеры, см: длина	5	5
ширина	5	5
высота	5	5
Площадь приложения нагрузки $A$ , см <sup>2</sup>	25	25
Разрушающая нагрузка $F$ , кН	39	11
Предел прочности при сжатии $R_c$ , кН/см <sup>2</sup> *	1,56	0,44
То же, МПа	15,6	4,4
Коэффициент размягчения, $K_p$	0,28	

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

Формулы:

$$R_c = \frac{F}{A}; \quad K_p = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}.$$

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

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

#### Расчет удельной прочности (коэффициента конструктивного качества)

**Задание:** рассчитать удельную прочность для материалов, указанных в таблице (см. табл. 6 лабораторного журнала).

**Ход работы:** удельную прочность  $R_{\text{уд}}$  рассчитывают по формуле (20). Результаты всех расчетов заносят в сводную таблицу (см. табл. 6 лабораторного журнала).

## Пример

Таблица 5

Значение  $R_{уд}$  для некоторых материалов

Материал	$d$	$R_c$ , МПа	$R_p$ , МПа	$R_{уд}$ , МПа	
				при сжатии	при растяжении
Сталь марки Ст5	7,85	—	490	—	62,4
Стальная высокопрочная арматурная проволока Вр-II	7,85	—	1780	—	226,75
Кирпич керамический	1,6	15	—	9,37	—
Бетон тяжелый	2,4	30	—	12,5	—
Сосна	0,5	50	115	100	230
Стеклопластик листовой	1,5	—	200	—	133,33

Формулы:

$$R_{уд} = K_{к.к.} = \frac{R}{d}; \quad d = \frac{\rho_m}{\rho_{воды}}.$$

По показателю удельной прочности среди материалов, представленных в таблице, древесина является наиболее эффективным конструкционным материалом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Микульский, В.Г.* Строительные материалы / В.Г. Микульский, Г.П. Сахаров и др. М. : АСВ, 2011. 520 с.
2. *Попов, К.Н.* Строительные материалы / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. М. : Студент, 2012. 460 с.
3. *Величко, Е.Г.* Строение и основные свойства строительных материалов. М. : ЦИТП им. Г.К. Орджоникидзе, 2014. 496 с.
4. *Мещеряков, Ю.Г.* Строительные материалы: учебник для студентов ВПО, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» / Ю.Г. Мещеряков, С.В. Федоров. СПб : НОУ ДПО «ЦИПК», 2013. 400 с.
5. Строительное материаловедение / Под общ. ред. проф. В.А. Невского. Ростов н/Д : Феникс, 2010. 589 с.