

**Владимирский государственный университет**

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**Основные свойства строительных материалов.  
Заполнители для бетона**

**Учебно-практическое пособие**

**Владимир 2025**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основные свойства строительных материалов.  
Заполнители для бетона

Учебно-практическое пособие

*Электронное издание*



Владимир 2025

ISBN 978-5-9984-1944-7

© ВлГУ, 2025

© Баруздин А. А., 2025

УДК 691  
ББК 38.3

**Автор-составитель А. А. Баруздин**

**Рецензенты:**

Кандидат технических наук, доцент  
зав. кафедрой архитектуры  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*С. Н. Авдеев*

Кандидат химических наук  
доцент кафедры строительства зданий и сооружений  
Ярославского государственного технического университета  
*В. Б. Доброхотов*

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.** Основные свойства строительных материалов. Заполнители для бетона [Электронный ресурс] : учеб.-практ. пособие / авт.-сост. А. А. Баруздин ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. – 84 с. – ISBN 978-5-9984-1944-7. – Электрон. дан. (2,04 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Содержит базовые термины и определения в области свойств строительных материалов и заполнителей для бетона, описаны характеристики и методы испытаний. Практическая часть включает лабораторные работы, направленные на формирование навыков в области оценки и анализа основных свойств строительных материалов и заполнителей для бетона.

Предназначено для студентов очного обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 19. Табл. 38. Библиогр.: 21 назв.

ISBN 978-5-9984-1944-7

© ВлГУ, 2025  
© Баруздин А. А., 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>                                                                    | <b>5</b>  |
| <br><b>1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>                           | <b>7</b>  |
| 1.1. Состав и строение строительных материалов .....                                     | 7         |
| 1.2. Физические свойства строительных материалов .....                                   | 8         |
| 1.2.1. Структурные характеристики.....                                                   | 8         |
| 1.2.2. Гидрофизические свойства .....                                                    | 12        |
| 1.2.3. Теплофизические свойства строительных материалов .....                            | 15        |
| 1.2.4. Акустические свойства .....                                                       | 19        |
| 1.3. Механические свойства .....                                                         | 19        |
| 1.4. Химические, физико-химические и технологические свойства .....                      | 24        |
| 1.5. Надежность строительных материалов.....                                             | 26        |
| <br><b>ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ .....</b>                                                  | <b>27</b> |
| <i>Лабораторная работа № 1. Определение насыпной плотности и пустотности песка .....</i> | <i>27</i> |
| <i>Лабораторная работа № 2. Определение истинной плотности .....</i>                     | <i>30</i> |
| <i>Лабораторная работа № 3. Определение средней плотности.....</i>                       | <i>35</i> |
| <i>Лабораторная работа № 4. Гидрофизические свойства строительных материалов.....</i>    | <i>42</i> |
| <i>Контрольные вопросы .....</i>                                                         | <i>47</i> |
| <br><b>2. СВОЙСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕТОНА .....</b>                                     | <b>51</b> |
| 2.1. Назначение и классификация заполнителей .....                                       | 51        |
| 2.2. Основные свойства заполнителей .....                                                | 54        |
| <br><b>ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ .....</b>                                                  | <b>58</b> |
| <i>Лабораторная работа № 5. Анализ зернового состава песка.....</i>                      | <i>58</i> |
| <i>Лабораторная работа № 6. Свойства крупного заполнителя .....</i>                      | <i>63</i> |
| <i>Контрольные вопросы .....</i>                                                         | <i>72</i> |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ .....</b>                                              | <b>73</b> |
| <b>ОБОЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН.....</b>                                | <b>76</b> |
| <b>ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ<br/>В УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ .....</b> | <b>78</b> |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>                                                 | <b>80</b> |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ .....</b>                        | <b>81</b> |
| <b>РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ<br/>СПИСОК .....</b>              | <b>83</b> |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Ни одно строительство невозможно без использования строительных материалов, которые считаются его ключевым элементом. Первобытный человек, возводя первые жилища, располагал ограниченным набором материалов: древесиной, каменными блоками, глиной и животными шкурами. Все эти материалы можно отнести к природным. Однако спустя столетия эволюции ассортимент используемых строительных материалов кратно вырос, кроме природных появились и искусственно созданные материалы. Все они отличаются друг от друга структурой и свойствами, что позволяет использовать их в различных целях: для несущих и ограждающих конструкций, улучшения эксплуатационных качеств здания (тепло- и гидроизоляция), декоративного оформления и отделки, а также придания конструкции особых характеристик (защита от радиации, химическая стойкость и т. д.).

Для современного специалиста в области строительства важно обладать глубокими знаниями о свойствах и структуре строительных материалов, что позволяет обеспечивать надёжность и длительный срок службы возводимых объектов.

С древних времен человек повсеместно использовал материалы, представляющие собой различного рода частицы (пески, камни), скрепленные в камневидное состояние вяжущим веществом. Впоследствии такие материалы стали называть бетоном. Свойства бетона во многом зависят от свойств песка, камней (заполнителей), которые скрепляет вяжущее. Заполнители позволяют экономить вяжущее, создают в бетоне жесткий скелет, увеличивают его прочность и долговечность. Легкие заполнители могут уменьшать его плотность и теплопроводность, а некоторые заполнители могут придавать специальные свойства (например, защита от радиации). Для эффективного

применения бетона, анализа и прогнозирования его свойств очень важно разбираться в основных свойствах его заполнителей.

Пособие знакомит студентов с основными свойствами и характеристиками строительных материалов и заполнителей для бетона.

Учебное пособие состоит из двух разделов, в конце каждого приводятся методические указания к выполнению лабораторных работ и контрольные вопросы по изученной теме. В конце пособия приводятся расчетные задачи для закрепления навыков оценки свойств строительных материалов.

# 1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. Состав и строение строительных материалов

Любой строительный материал имеет свою оптимальную сферу применения, которая определяется комплексом характерных ему свойств. Свойства материалов подразделяют на **физические, механические, химические, технологические**. Свойства материала определяются его составом и строением.

По химическому составу все вещества делятся на два основных типа: **органические и неорганические**.

Соединения углерода с другими элементами (главным образом с водородом, азотом и кислородом) формируют основу **органических веществ**. К характерным представителям органических строительных материалов относятся древесина, битум и различные полимерные вещества [1].

В состав **неорганических веществ** входят окисленные химические элементы, главным образом оксиды кремния и алюминия с оксидами различных металлов. Они служат основой для производства широкого спектра строительных материалов: природного камня, искусственных каменных изделий (бетона, керамики, стекла), а также металлических конструкций [1].

Свойства любого материала определяются его **структурой**, которая включает в себя особенности расположения частиц, их форму и размер, а также наличие пор, их количество, величину и особенности распределения.

Структура материалов подразделяется на два уровня: **макροструктуру**, которую можно наблюдать без специальных приборов или при небольшом увеличении, и **микроструктуру**, которая становится видимой только при использовании микроскопа с большим увеличением [1].

По характеру строения выделяют следующие типы **макροструктуры** материалов: плотную, конгломератную, ячеистую, мелкопористую, волокнистую, слоистую и рыхло-зернистую.

В зависимости от характера микроструктуры и того, как упорядочены атомы и молекулы в веществе, твердые тела подразделяют на

**аморфные** (с неупорядоченной структурой) или **кристаллические** (с упорядоченной структурой) [1].

К **кристаллическим** относятся твердые тела, характеризующиеся упорядоченным расположением атомов и молекул, образующих регулярную пространственную структуру, известную как кристаллическая решетка.

К **аморфным** относятся такие тела, в которых атомы находятся в упорядоченном состоянии лишь по отношению к своим ближайшим соседям, но не имеют структуры на большем удалении.

**Аморфные и кристаллические** вещества демонстрируют различные свойства из-за своего строения: аморфные материалы, имея свободную энергию кристаллизации, характеризуются высокой химической активностью и при нагревании постепенно размягчаются без четкой температуры плавления, в то время как кристаллические вещества отличаются прочностью и плавятся при определённой температуре.

## 1.2. Физические свойства строительных материалов

Физические свойства делятся на параметры состояния (структурные характеристики), гидрофизические, теплофизические, акустические.

### 1.2.1. Структурные характеристики

К основным структурным характеристикам строительных материалов можно отнести плотность и пористость.

**Плотность** — это физическая величина, показывающая массу единицы объёма вещества.

При определении плотности материала учитывается либо только объем твердого вещества, либо весь объем включая поры и пустоты, что позволяет различать **истинную** плотность (без пор), **среднюю** (с порами) и **насыпную** плотность (для сыпучих материалов).

**Истинная плотность  $\rho_{и}$ , кг/м<sup>3</sup>** — масса единицы объёма материала в абсолютно твердом состоянии без учета пор и пустот [2].

$$\rho_{\text{и}} = \frac{m_a}{V_a}, \quad (1)$$

где  $m_a$  — масса твёрдого вещества, г, кг;  $V_a$  — объём твёрдого вещества, см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>.

Истинная плотность характеризует вещество, из которого состоит материал. Истинная плотность природных и искусственных каменных материалов колеблется в пределах 2500...3000 кг/м<sup>3</sup>. Древесина обладает истинной плотностью около 1500 кг/м<sup>3</sup>. Значение истинной плотности других органических материалов составляет 800...1200 кг/м<sup>3</sup>. У металлов наблюдаются большие различия истинной плотности, так для алюминия она составляет 2700 кг/м<sup>3</sup>, а, например, для свинца 11300 кг/м<sup>3</sup>.

**Средняя плотность  $\rho_{\text{ср}}$ , кг/м<sup>3</sup>** — масса единицы объема материала в естественном состоянии, с учетом имеющихся пор и пустот [1].

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m_{\text{ест}}}{V_{\text{ест}}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{ест}}$  — масса материала в естественном состоянии, г, кг;  $V_{\text{ест}}$  — объём материала в естественном состоянии, см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>.

Структура и пористость материала напрямую влияют на его среднюю плотность. Это хорошо видно на примере бетона: изменяя структуру пор, можно получить материалы с плотностью от 500 кг/м<sup>3</sup> (легкий пористый бетон) до 2500 кг/м<sup>3</sup> (тяжелый бетон с минимальной пористостью).

**Насыпная плотность  $\rho_{\text{нас}}$ , кг/м<sup>3</sup>** — масса единицы объёма рыхло насыпанных зернистых материалов (с учетом пор в каждом зерне и пустот между ними) [3].

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m_{\text{нас}}}{V_{\text{нас}}}, \quad (3)$$

где  $m_{\text{нас}}$  — масса рыхло насыпанного материала, г, кг;  $V_{\text{нас}}$  — объём, занимаемый рыхло насыпанным материалом, см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>.

Также иногда используют понятие относительной плотности. **Относительная плотность**  $\rho_{\text{отн}}$ , кг/м<sup>3</sup> – это безразмерная величина, отношение средней плотности материала к плотности воды при температуре 4<sup>0</sup>С, равной 1 г/см<sup>3</sup> или 1000 кг/м<sup>3</sup> [3].

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды при температуре 4<sup>0</sup>С, равная 1 г/см<sup>3</sup> или 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Структура материала характеризуется его пористостью.

**Пористость**  $\Pi$ , % — это степень заполнения объёма материала порами [1].

Обычно пористость рассчитывают исходя из средней и истинной плотности материала.

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{и}}}\right) \cdot 100\% \quad (5)$$

Сложная природа пористой структуры материала требует комплексного подхода к её описанию: помимо количественных характеристик учитывается качественный аспект, включающий разделение на открытые и закрытые поры и их градацию по размерам.

**Открытая пористость**  $\Pi_o$ , % — отношение суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к объему материала в сухом состоянии [3].

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

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

Присутствие в материале взаимосвязанных и открытых для внешней среды пор обеспечивает его быстрое насыщение водой. Чем выше процент таких пор, тем выше водопоглощение материала, что негативно сказывается на его морозостойкости.

**Закрытая пористость**  $P_3$ , % характеризует степень насыщения объёма материала замкнутыми порами, не сообщающимися между собой и окружающей средой [3].

$$P_3 = P - P_0 \quad (7)$$

Увеличение количества замкнутых пор в материале существенно улучшает его эксплуатационные характеристики: уменьшается водопоглощение, повышается морозостойкость и долговечность.

Помимо этого, пористость материала влияет на его прочность, теплоизоляционные и акустические свойства.

Иногда вычисляют величину обратную пористости – **коэффициент плотности**,  $K_{пл}$ , %. Это показатель, который характеризует степень заполнения объёма материала твердым веществом [3].

$$K_{пл} = \frac{\rho_{ср}}{\rho_н} \cdot 100 \% \quad (8)$$

$$K_{пл} = 1 - P \quad (9)$$

Для рыхлонасыпного материала можно определить пустотность.

**Пустотность** – это доля межзерновых пустот в рыхлонасыпном объёме материала [9].

$$V_{пуст} = \left( 1 - \frac{\rho_н}{\rho_{ср}} \right) 100 \%, \quad (10)$$

где  $\rho_{ср}$  – средняя плотность зерен рыхлонасыпного материала, г/см<sup>3</sup>;

В табл. 1 приведены истинная и средняя плотность и пористость некоторых строительных материалов.

*Таблица 1*

**Истинная и средняя плотность и пористость некоторых строительных материалов [1,3]**

| Материал      | Плотность кг/м <sup>3</sup> |             | Пористость, % |
|---------------|-----------------------------|-------------|---------------|
|               | Истинная                    | Средняя     |               |
| Гранит        | 2700...2800                 | 2600...2700 | 0,1...2,0     |
| Известняк     | 2400...2700                 | 1800...2700 | 0,1...22,0    |
| Тяжелый бетон | 2600...2700                 | 2200...2500 | 8...12        |
| Кирпич        | 2500...2600                 | 1400...1800 | 25...45       |
| Древесина     | 1500...1550                 | 400...800   | 45...70       |
| Пенопласт     | 950...1200                  | 20...100    | 90...98       |

### 1.2.2. Гидрофизические свойства

В ходе использования и хранения строительные материалы способны впитывать влагу из окружающей среды, что приводит к значительным изменениям их характеристик. Так, увлажнение материала вызывает увеличение его теплопроводности, изменение средней плотности и прочностных показателей.

**Гидрофизические свойства** представляют собой комплекс характеристик материала, определяющих его реакцию на постоянное или переменное воздействие влаги и водяного пара. К ним относят такие свойства, как: влажность, гигроскопичность, водопоглощение, влагоотдача, морозостойкость, водопроницаемость и водонепроницаемость, водостойкость, влажностные деформации.

**Влажность** – содержание влаги в материале в данный момент времени, отнесенное к единице массы материала в сухом состоянии [1]. Влажность определяют по формуле

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} 100 \%, \quad (11)$$

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

**Водопоглощение** – способность материала поглощать воду и удерживать её в своих порах. Водопоглощение характеризуется максимальным количеством воды, поглощаемым образцом материала при выдерживании его в воде, отнесенным к массе сухого образца (водопоглощение по массе  $W_m^{\text{п}}$ ) или к его объёму (объёмное водопоглощение  $W_o^{\text{п}}$ ) [1].

Водопоглощение определяют по формулам

$$W_m^{\text{п}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$W_o^{\text{п}} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\text{ест}}} = \frac{(m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}})}{\rho_{H_2O}} \cdot \frac{\rho_m}{m_2} = W_m^{\text{п}} \cdot \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{H_2O}}, \quad (13)$$

где  $m_{\text{нас}}$  – масса материала в насыщенном водой состоянии, г;  $m_{\text{сух}}$  – масса сухого материала, г;  $V_{\text{ест}}$  – объём материала в сухом состоянии,

см<sup>3</sup>;  $V_{H_2O}$  – объём воды, поглощенной образцом материала, см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{H_2O}$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

**Капиллярное всасывание** – свойство капиллярно-пористого материала поглощать воду при одностороннем контакте, характеризуется высотой подъема воды в материале [2].

**Коэффициент насыщения пор водой** – отношение водопоглощения по объёму к общей пористости материала [3].

$$K_n = \frac{W_o^{\text{п}}}{\Pi}, \quad (14)$$

где  $\Pi$  – общая пористость материала, %;

**Гигроскопичность** – способность материалов поглощать водные пары из воздуха. Гигроскопичность зависит от характера пористости и химического состава материала. Типичные гигроскопичные материалы – это древесина и гипс. Для снижения гигроскопичности поверхности материалов покрывают веществами с водоотталкивающими свойствами, например, красками или лаками [2].

**Влагоотдача** – способность материала отдавать влагу окружающей среде, характеризуется скоростью потери влаги материалом в сутки при относительной влажности воздуха 60 % [1].

**Морозостойкость** – способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения. Характеризуется числом циклов замораживания (при температуре -18<sup>0</sup>С) и оттаивания (в воде), которое выдерживает материал без снижения прочности, потери массы, появления внешних повреждений, указанных в ГОСТе на соответствующий материал [1].

Когда вода в порах материала превращается в лёд, она расширяется и оказывает разрушительное воздействие на стенки пор. С каждым новым циклом заморозки влага проникает всё глубже в структуру материала, что постепенно приводит к его разрушению.

На морозостойкость материала влияют его пористость и водопоглощение. Наибольшую морозостойкость демонстрируют плотные материалы и материалы с замкнутыми порами, поскольку они плохо

впитывают воду. Напротив, материалы с открытой пористой структурой обычно характеризуются пониженной морозостойкостью.

Материалы по морозостойкости разделяют на марки, обозначаемые буквой F и числовым индексом. Данный индекс отражает количество циклов замораживания-оттаивания, которые материал может выдержать без видимых повреждений и потери эксплуатационных характеристик. Например, материал марки F50 способен противостоять 50 таким циклам без проявления признаков разрушения (снижение прочности, потеря массы, внешние повреждения).

**Водопроницаемость** – способность материала пропускать через свою структуру воду под давлением, характеризуется **коэффициентом фильтрации (см/с)**, вычисляемым по формуле [4]

$$K_{\Phi} = \frac{V_{\text{в}} \cdot a}{S \cdot (P_2 - P_1) \cdot t}, \quad (15)$$

где  $V_{\text{в}}$  – объём воды, прошедшей через материал, л;  $a$  – толщина материала, м;  $S$  – поперечное сечение материала, м<sup>2</sup>;  $(P_2 - P_1)$  – разность гидростатического давления на противоположных поверхностях материала, м. вод. ст.;  $t$  – время эксперимента, ч.

**Водонепроницаемость** – обратная характеристика водопроницаемости, характеризующая способность материала не пропускать воду под давлением [3].

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.

**Влажностные деформации** – изменение объёма и размеров образца материала при изменении влажности [5].

**Усадка** – уменьшение размеров и объёма образца материала при его высыхании (мм/м; %) [5].

**Набухание** – увеличение размеров и объёма образца материала при его увлажнении или полном насыщении водой (мм/м; %) [5].

**Водостойкость** – способность материала, насыщенного водой, сохранять свою прочность. Степень понижения прочности материала

характеризуется **коэффициентом размягчения**, вычисляемым по формуле [3]

$$K_p = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}, \quad (16)$$

где  $R_{\text{нас}}$  – предел прочности материала в водонасыщенном состоянии, Мпа;  $R_{\text{сух}}$  – предел прочности материала в сухом состоянии.

Значения  $K_p$  варьируются от 0 (как у необожжённой глины) до 1 (как у стекла и стали). Материалы с  $K_p$  более 0,8 считаются водостойкими и могут использоваться в помещениях с повышенной влажностью без дополнительной защиты.

Паропроницающая способность материалов характеризуется **паропроницаемостью и сопротивлением паропроницанию**.

**Паропроницаемость** – способность материала пропускать через свою толщу водяной пар или воздух при разности давлений на противоположных поверхностях материала, характеризуется коэффициентом паропроницаемости  $\mu$ , мг/(м·ч·Па) [3].

**Сопротивление паропроницанию** – величина, численно равная разности парциальных давлений водяного пара в паскалях 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 [3].

### 1.2.3. Теплофизические свойства строительных материалов

**Теплопроводность** – способность материала передавать тепло сквозь свою толщу от одной поверхности к другой в случае, если температура поверхностей разная.

Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  Вт/(м·К) — количеством теплоты, которое способен передать материал через 1 м<sup>2</sup> поверхности при толщине 1 м и разности температур на поверхностях 1 К в течение 1 с [3].

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot \Delta t \cdot \tau}, \quad (17)$$

где  $Q$  — количество теплоты, Дж;  $\delta$  — толщина материала, м;  $A$  — площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  — разность температур, К;  $\tau$  — продолжительность прохождения тепла, с.

Структура пор напрямую влияет на способность материала проводить тепло. Чем больше в материале воздушных полостей, тем хуже он проводит тепло, что объясняется низкой теплопроводностью воздуха по сравнению с твердыми материалами (0,023 Вт/м·К). Теплопроводность тяжелого бетона составляет около 1,1-1,3 Вт/м·К.

Влажность материалов непосредственно влияет на их теплопроводность, так как теплопроводность воды в 25 раз выше, чем у воздуха. Таким образом, если материал влажный, то часть пор заняты влагой и теплопроводность возрастает.

В табл. 2 приведены коэффициенты теплопроводности некоторых строительных материалов.

*Таблица 2*

**Коэффициенты теплопроводности некоторых строительных материалов**

| Наименование материала | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Пористость, % | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м· К) |
|------------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|
| Тяжелый бетон          | 2200...2500                          | 8...12        | 1,1...1,3                               |
| Гранит                 | 2600...2800                          | 1...0,5       | Около 3                                 |
| Кирпич                 | 1600...1800                          | 28...33       | 0,7...0,8                               |
| Пенополистирол         | 10...50                              | 95...98       | 0,035...0,3                             |

**Теплоемкость** – способность материала поглощать при нагревании теплоту. Показателем теплоемкости служит удельная теплоемкость [3].

**Удельная теплоемкость, Дж/ (кг·К)** – количество теплоты, поглощаемое единицей массы материала при нагревании на 1 К [3].

**Тепловое расширение** – свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении, характеризуется температурным коэффициентом линейного расширения [3].

**Температурный коэффициент линейного расширения** - коэффициент, показывающий на какую долю длины увеличиться размер материала в рассматриваемом направлении при повышении температуры на 1 К [3].

Важно учитывать, что разные материалы могут обладать значительно разными коэффициентами теплового расширения. Это особенно критично при создании конструкций из нескольких материалов, так как их жесткое соединение может вызвать появление напряжений, приводящих к короблению и образованию трещин.

**Огнестойкость** - способность конструкции сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара. Огнестойкость строительных конструкций характеризуется пределом огнестойкости [3].

**Предел огнестойкости** — это показатель огнестойкости конструкции, определяемый временем от начала огневого испытания при стандартном температурном режиме до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости.

Различают следующие основные виды предельных состояний конструкций по огнестойкости [6]:

- потеря несущей способности вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (R);
- потеря целостности в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя (E);
- потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности до предельных для данной конструкции значений (I);

Обозначение предела огнестойкости строительной конструкции состоит из условных обозначений, нормируемых для данной конструкции предельных состояний и цифры, соответствующей времени достижения одного из этих состояний (первого по времени) в минутах.

Например:

R 120 – предел огнестойкости 120 мин – по потере несущей способности.

REI – 30 – предел огнестойкости 30 мин – по потере несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности независимо от того какое из трех предельных состояний наступит ранее.

**Горючесть** – способность материалов к развитию горения.

Строительные материалы в зависимости от значения параметра горючести разделяют на **горючие (Г) и негорючие (НГ)**.

Строительные материалы относят к негорючим при следующих параметрах горючести:

- приrost температуры в печи не более 50 °С;
- потеря массы образца не более 50 %;
- продолжительность устойчивого пламенного горения не более 20 с.
- теплота сгорания не более 3,0 МДж/кг;

Для негорючих материалов показатели пожарной опасности не определяют и не нормируют. Строительные материалы, не удовлетворяющие хотя бы одному вышеуказанных из параметров, относятся к горючим. Горючие строительные материалы в зависимости от значений параметров горючести подразделяют на группы от Г1 (наименее горючие) до Г4 (наиболее горючие).

В табл. 3 приведена классификация горючих строительных материалов по группам горючести в зависимости от параметров горючести.

*Таблица 3*

**Классификация горючих строительных материалов  
по группам горючести в зависимости от параметров горючести  
[7]**

| 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 $t_{с.г.}$ , с |
| Г1                                                                                                                                                                                                                                                                                           | До 135 включ.                      | До 65 включ.                           | До 20                                  | 0                                                         |
| Г2                                                                                                                                                                                                                                                                                           | До 235 включ.                      | До 85 включ.                           | До 50                                  | До 30 включ.                                              |
| Г3                                                                                                                                                                                                                                                                                           | До 450 включ.                      | Св. 85                                 | До 50                                  | До 300 включ.                                             |
| Г4                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Св. 450                            | Св. 85                                 | Св. 50                                 | Св. 300                                                   |
| <b>Примечание:</b> для материалов, относящихся к группам горючести Г1-Г3, не допускается образование горящих капель расплава и горящих фрагментов при испытании; для материалов, относящихся к группам горючести Г1-Г2, не допускается образование расплава и капель расплава при испытании. |                                    |                                        |                                        |                                                           |

Огнестойкость материалов повышается с помощью специальных веществ - **антипиренов**. Их действие основано на двух механизмах: под действием температуры создают на поверхности материала пористый защитный слой, либо выделяют газы, не поддерживающие горение, что существенно замедляет процесс нагрева и возгорания.

**Огнеупорность** – способность материала выдерживать длительные воздействия высоких температур без деформаций и размягчения (без плавления) [5].

По огнестойкости выделяют:

- легкоплавкие материалы (менее 1350 °С);
- тугоплавкие материалы (1350-1580 °С);
- огнеупорные материалы (более 1580 °С);

#### **1.2.4. Акустические свойства**

**Акустические свойства** материала описывают его поведение при взаимодействии со звуковыми волнами. Звук или звуковые волны представляют собой колебания, распространяющиеся в различных средах. Основными показателями являются звукопроводность и звукопоглощение [1].

Способность материала проводить звук через свою толщю называется **звукопроводностью**. На этот параметр влияют структура и масса материала. Пористые и волокнистые материалы эффективно рассеивают звук, превращая его в тепло, тогда как тяжелые материалы создают значительное сопротивление прохождению звуковых волн из-за необходимости их физического колебания.

**Звукопоглощение** характеризует способность материала поглощать или отражать падающий на него звук. Ключевым фактором является характер поверхности: пористые материалы поглощают звуковые волны, в то время как гладкие поверхности их отражают, создавая в помещении повышенный уровень шума.

#### **1.3. Механические свойства**

**Механические свойства** – это свойства, которые характеризуют способность материалов сопротивляться действию внешних сил

или иных факторов (например, температурных), вызывающих в нем внутренние напряжения сжатия, растяжения, сдвига.

**Прочность** – способность материала сопротивляться разрушению в результате воздействия внешних сил, вызывающих в материале внутренние напряжения [1].

В основе строения любого материала лежат частицы, удерживаемые силами взаимного сцепления. При приложении внешней нагрузки эти силы равномерно распределяют воздействие на все частицы материала, переводя его в напряженное состояние.

**Напряжение** – это внутренние силы, приходящиеся на единицу площади поперечного сечения материала, возникающие при приложении к нему внешней силы  $F$ .

Прочность характеризуется значением **предела прочности ( $R$ )** – это напряжение в образце материала в момент его разрушения [3].

В зависимости от характера возникающих напряжений различают предел прочности при сжатии, изгибе, растяжении, срезе.

**Предел прочности при сжатии** определяется как отношение разрушающей нагрузки к площади её приложения [3].

$$R_{\text{сж}} = \frac{F}{A}, \quad (18)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, Н, кН;  $A$  – площадь приложения нагрузки, мм<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>, м<sup>2</sup>.

Для определения предела прочности при сжатии традиционно испытывают образцы в форме кубов, цилиндров, призм, половинки стандартных образцов балочек 4х4х16 см.

Предел прочности при сжатии — это важнейший параметр, который определяет способность строительных материалов выдерживать сжимающие нагрузки. Данный показатель критически важен для таких элементов конструкций как колонны, фундаменты и стены.

**Предел прочности при изгибе** характеризует способность материала сопротивляться разрушению от действия разрушающей нагрузки [5].

Традиционно используют две схемы нагружения при испытании строительных материалов на изгиб – трехточечную и четырехточечную (рис. 1).

Величина предела прочности при изгибе определяется по формулам:

- при трехточечной схеме нагружения:

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

- при четырехточечной схеме нагружения:

$$R_{\text{изг}} = \frac{Fl}{bh^2}, \quad (20)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, кгс, Н, кН;  $l$  – расстояние между опорами, см;  $b$  – ширина балочки, см;  $h$  – высота балочки, см.

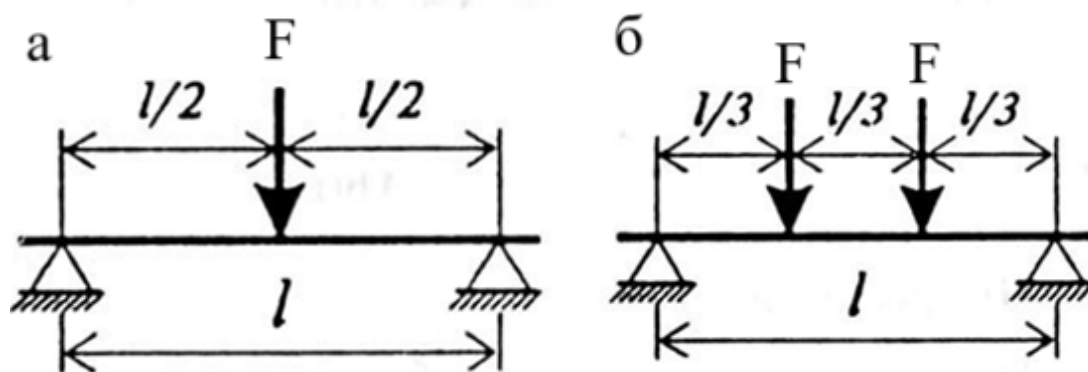


Рис. 1. Схемы испытания строительных материалов на изгиб:  
а – трехточечная, б – четырехточечная

Предел прочности при изгибе — это ключевой параметр, который определяет способность строительных материалов выдерживать изгибающие нагрузки. Данный показатель имеет решающее значение для таких элементов конструкций как плиты покрытий, перекрытия и балки.

**Твердость** – способность материала сопротивляться проникновению в него другого материала. Для определения твердости материалов существует ряд методов [5, 8].

Твердость природных и искусственных каменных материалов оценивают с помощью шкалы Мооса, которая состоит из 10 эталонных минералов с условным показателем твердости от 1 до 10 (рис. 2) [5].

Определение твёрдости металлов и других твёрдых материалов осуществляется с помощью специальных приборов, использующих методы Бринелля и Роквелла. Оба метода основаны на вдавливании в образец индентора (стального шарика или алмазного конуса) под определённой нагрузкой, после чего твёрдость рассчитывается по размеру оставшегося отпечатка.

Важно отметить, что прочность и твёрдость материала не всегда коррелируют между собой – так, древесина, обладая невысокой твердостью, при сжатии демонстрирует характеристики не хуже бетона, а при изгибе даже превосходит его.

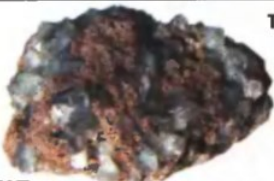
|                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Тальк</b></p>  <p>Твердость 1</p> <p>Царапается ногтем</p>    | <p><b>Ортоклаз</b></p>  <p>Твердость 6</p> <p>Царапается напильником</p> |
| <p><b>Гипс</b></p>  <p>Твердость 2</p> <p>Царапается ногтем</p>    | <p><b>Кварц</b></p>  <p>Твердость 7</p> <p>Поддается обработке</p>      |
| <p><b>Кальцит</b></p>  <p>Твердость 3</p> <p>Царапается ножом</p> | <p><b>Топаз</b></p>  <p>Твердость 8</p> <p>Царапает стекло</p>         |
| <p><b>Флюорит</b></p>  <p>Твердость 4</p> <p>Царапается ножом</p> | <p><b>Корунд</b></p>  <p>Твердость 9</p> <p>Царапает стекло</p>        |
| <p><b>Апатит</b></p>  <p>Твердость 5</p> <p>Царапается ножом</p>  | <p><b>Алмаз</b></p>  <p>Твердость 10</p> <p>Режет стекло</p>           |

Рис. 2. Шкала Мооса

**Истираемость** – способность материала сопротивляться истирающим воздействиям. Истираемость оценивают потерей массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания [3, 9].

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

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

**Деформация** – изменение формы и размеров образца строительного материала под действием внешних сил [2].

**Абсолютная деформация** вычисляется по формуле

$$\Delta l = l - l_0, \quad (22)$$

где  $l_0$  – начальная длина образца, мм;  $l$  – длина образца после воздействия внешних сил, мм.

**Относительная деформация** вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (23)$$

Деформации бывают обратимыми (исчезающие после снятия нагрузки) и необратимыми (сохраняются после снятия нагрузки).

**Упругость** – свойство материала самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия силы. Одной из основных величин, характеризующих это свойство, является **модуль упругости (модуль Юнга)**, определяемый по формуле [3]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (24)$$

где  $\sigma$  – напряжение, МПа.

Модуль упругости характеризует жёсткость материала – чем он выше, тем меньше материал подвержен деформации. Сравнение каучука и стали наглядно демонстрирует эту зависимость: при модуле упругости 10-20 МПа каучук проявляет высокую эластичность, в то время как у стали этот показатель в 10 000 раз выше (200 000 МПа),

что делает её значительно более жёстким материалом, деформирующимся в 10 000 раз меньше при одинаковых нагрузках.

**Пластичность** – свойство материала изменять форму и размеры под действием внешних сил без образования трещин, разрывов и сохранять эту форму после снятия нагрузки [5].

Материалы можно разделить на две основные категории в зависимости от их механических свойств. Такие пластичные материалы, как глина, сохраняют полученную деформацию после снятия нагрузки, в то время как упругие материалы, подобно резиновому мячу, способны восстанавливать свою форму после прекращения воздействия нагрузки.

В промышленной и строительной отраслях используются как упругие материалы (сталь, искусственный камень), так и пластичные (битумы, определенные типы пластмасс, свинец).

**Хрупкость** – свойство материала разрушаться под воздействием внешних сил без заметных деформаций [5].

**Ползучесть** – это изменение деформаций образцов во времени под действием постоянной нагрузки [5].

#### 1.4. Химические, физико-химические и технологические свойства

**Химические свойства** материалов отражают их способность участвовать в реакциях при соприкосновении с другими веществами. На эти процессы могут воздействовать различные факторы: тепло, радиационное излучение, электрический ток и биологические агенты, включая микроорганизмы и грибки. В контексте строительства наиболее значимыми являются показатели коррозионной стойкости и химической активности материала. Второй параметр критически важен для вяжущих веществ (например, гипса, цемента, извести) и активных добавок.

Под **коррозией** понимается процесс разрушения твердых материалов, происходящий в результате их химического и электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Данное явление распространено не только среди металлов, но и затрагивает такие материалы как пластмассы, каменные изделия, бетон и древесина [1].

К основным факторам, вызывающим коррозию строительных материалов, относятся различные водные среды: пресная и морская вода, а также минерализованные грунтовые воды. Значительный вклад вносят газы, как растворенные в дождевой воде, так и образующиеся вследствие деятельности промышленных предприятий и транспорта. В промышленной среде особую опасность представляют агрессивные химические вещества – кислоты и щелочи.

**Биокоррозия** представляет собой процесс разрушения материалов, вызываемый жизнедеятельностью различных организмов.

Что касается пластмасс, процесс постепенного изменения их свойств под влиянием окружающей среды известен как старение. В ходе этого процесса происходит изменение их структуры и химического состава. Наиболее разрушительное воздействие на пластмассы оказывают три основных фактора: солнечное ультрафиолетовое излучение, кислород и повышенные температуры.

Главная опасность коррозии для строительных материалов заключается не в самих химических преобразованиях структуры, а в последующих изменениях их физико-механических свойств, что неизбежно приводит к утрате несущей способности и может закончиться полной потерей прочности конструкции.

Способность материала подвергаться химическим превращениям называется **химической активностью**. Это свойство особенно важно для связующих веществ и минеральных добавок. На активность в первую очередь влияют химический состав и строение материала, а также степень его измельчения [1].

**Удельная поверхность ( $\text{см}^2/\text{г}$ ,  $\text{м}^2/\text{кг}$ )** показывает степень измельчения материала. У тонкомолотых веществ, таких как цемент, этот показатель может быть очень высоким – от 3000 до 5000  $\text{см}^2/\text{г}$ . Увеличение удельной поверхности напрямую влияет на эффективность взаимодействия цементных частиц с водой [1].

При работе с материалами, получаемыми смешиванием сухих компонентов с водой (как цементное тесто, растворы и бетоны), особое внимание уделяется их физико-химическим свойствам в состоянии пластично-вязкой смеси. Ключевое значение среди этих свойств имеют адгезия и тиксотропия.

**Адгезия (МПа)** - сила сцепления между жидкой фазой или пластично-вязкими смесями (такими как растворы, мастики, краски) и поверхностью твердого основания, на которое они наносятся [3].

Степень сцепления наносимого материала с основанием зависит от множества факторов: их природы, формы, состояния поверхности и условий контакта. Адгезия измеряется силой, необходимой для разъединения поверхностей.

**Прочность сцепления, МПа** — прочность контакта затвердевшего нанесенного слоя раствора или другого твердого тела с поверхностью твердого основания (подложки) [3].

**Тиксотропия** представляет собой свойство пластично-вязких составов (таких как бетон и раствор), которое позволяет им временно становиться более жидкими под воздействием механических сил, а затем возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия. Данный феномен играет ключевую роль в различных строительных процессах: кладка, оштукатуривание, бетонирование [3].

В процессе создания и применения строительных материалов особое значение имеют их **технологические свойства**. Они определяют способность материалов к различным видам обработки, включая шлифовку, полировку, изменение формы, плавление, уплотнение и формование [2].

## 1.5. Надежность строительных материалов

Здания сооружения и конструкции, возводимые из строительных материалов, должны иметь высокую надежность.

**Надежность** — 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 [3].

**Безотказность** — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение всего периода эксплуатации [3].

**Долговечность** — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при предусмотренном техническом обслуживании и ремонте (срок службы) [3].

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

**Ремонтопригодность** — свойство объекта к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния при техническом обслуживании и ремонте [3].

**Сохраняемость** — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров при выполнении требуемых функций [3].

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### Лабораторная работа № 1

#### Определение насыпной плотности и пустотности песка

**Цель:** познакомиться с понятиями насыпной плотности и пустотности сыпучих материалов. Изучить методику определения насыпной плотности и пустотности и проанализировать от каких параметров они могут зависеть.

#### Используемые приборы и оборудование:

На рис. 3 представлены используемые в лабораторной работе приборы и оборудование.



Рис.3. Используемые приборы и оборудование: а – электронные весы; б – набор мерных цилиндров; в – лабораторный конус; г – линейка

### Ход работы:

1) Студенты разбиваются на звенья, каждое звено получает песок своего фракционного состава: крупный, мелкий, 25 % крупного и 75 % мелкого, 75 % крупного и 25 % мелкого, 50 % мелкого и 50 % крупного.

2) Предварительно в одном из мерных цилиндров необходимо приготовить 2 - 3 кг необходимой смеси песков.

3) На лабораторных весах взвешивают пустой мерный цилиндр объёмом 1л и записывают значение в табл. 4.

4) Приготовленную смесь песков пересыпают в лабораторный конус (металлическая задвижка в основании конуса должна быть закрыта).

5) Под конус ставят мерный цилиндр объёмом 1л и аккуратно приоткрыв металлическую задвижку дают песку свободно заполнить мерный цилиндр полностью с горкой (песок при этом не уплотняют, цилиндр не встряхивают).

6) Убрав в сторону лабораторный конус с помощью металлической линейки аккуратно удаляют излишек песка вровень с верхним ободком мерного цилиндра движением к себе, от себя или от середины влево и вправо. Удаление лишнего материала проводят без уплотнения.

7) Взвешивают мерный цилиндр объёмом 1л с песком и записывают значение в табл. 4. Производят вычисление насыпной плотности по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m_1 - m_2}{V_{\text{цил}}}, \quad (25)$$

где  $m_2$  – масса пустого цилиндра, г;  $m_1$  – масса цилиндра с песком, г;  $V_{\text{цил}}$  – объём цилиндра, см<sup>3</sup>.

8) Повторяют п.3-7 определяя насыпную плотность еще раз. Затем находят среднее арифметическое 2 результатов. Расхождение между результатами двух параллельных испытаний не должно превышать значения 0,1 г/см<sup>3</sup>. В противном случае испытание необходимо повторить. Насыпную плотность вычисляют как среднеарифметическое двух параллельных определений.

9) Результаты заносят в табл. 4.

Таблица 4

**Определение насыпной плотности песка**

| № исп. | Масса цилиндра с песком $m_1$ , г | Масса пустого цилиндра $m_2$ , г | Объём цилиндра $V_{\text{цил}}$ , см <sup>3</sup> | Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее значение $\rho_{\text{нас}}^{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|--------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1      |                                   |                                  | 1000                                              |                                                            |                                                                      |
| 2      |                                   |                                  | 1000                                              |                                                            |                                                                      |

10) Проведя измерение насыпной плотности всех песков, оформляют результаты лабораторной работы в общую табл. 5 и производят вычисление пустотности песков по формуле (10).

Таблица 5

**Результаты лабораторной работы**

| № | Песок                       | Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ , г/см <sup>3</sup> | Средняя плотность зерен песка* $\rho_{\text{нас}}$ , г/см <sup>3</sup> | Пустотность $V_{\text{пуст}}$ , % |
|---|-----------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Крупный                     |                                                            |                                                                        |                                   |
| 2 | Мелкий                      |                                                            |                                                                        |                                   |
| 3 | 25% мелкого<br>75% крупного |                                                            |                                                                        |                                   |
| 4 | 50% мелкого<br>50% крупного |                                                            |                                                                        |                                   |
| 5 | 75% мелкого<br>25% крупного |                                                            |                                                                        |                                   |

11) Анализируя результаты проведенного эксперимента оформляют вывод по лабораторной работе.

**Вывод**

## Лабораторная работа № 2

### Определение истинной плотности

**Цель:** ознакомиться с понятием истинной плотности материалов и методами её определения.

**Используемые приборы и оборудование:**

На рис. 4 изображены используемые в лабораторной работе приборы и оборудование.



*Рис. 4. Используемые приборы и оборудование:  
а – электронные весы; б – пикнометр; в – прибор Ле-Шателье;  
г – мерные стаканы и ложки для отбора навески;*

**Ход работы:**

Студенты разбивают на звенья и звенья определяют истинную плотность разных материалов пикнометрическим способом или с помощью прибора Ле-Шателье. По итогу выполнения лабораторной работы результаты объединяют в общую табл. 6.

Таблица 6

**Варианты заданий по звеньям**

| № звена | Материал                    | Способ определения истинной плотности | Результаты определения истинной плотности, г/см <sup>3</sup> |
|---------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1       | Кварцевый песок             | Пикнометрический                      | ✓                                                            |
| 2       | Кварцевый песок             | Пикнометрический                      | ✓                                                            |
| 3       | Молотый керамический кирпич | С помощью прибора Ле-Шателье          | ✓                                                            |
| 4       | Молотый керамический кирпич | С помощью прибора Ле-Шателье          | ✓                                                            |

**Определение истинной плотности с помощью прибора Ле-Шателье:**

Прибор Ле-Шателье изображен на рис. 5.

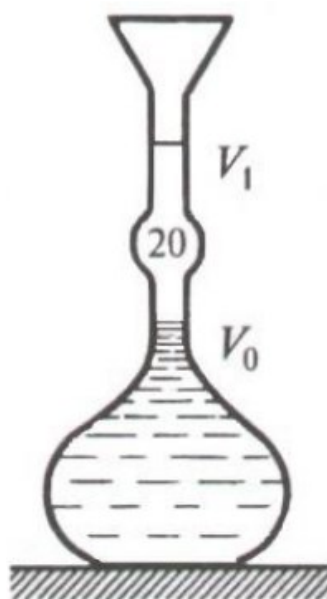


Рис. 5. Прибор Ле-Шателье

1) Для проведения измерений подготавливают навеску порошкового материала (размер частиц меньше размера пор) массой 100 г, которую взвешивают в стаканчике на весах.

2) В прибор Ле-Шателье добавляют воду до достижения нижней метки на горле колбы ( $V_0$ ). Контроль уровня жидкости производят по нижнему мениску (рис. 6).

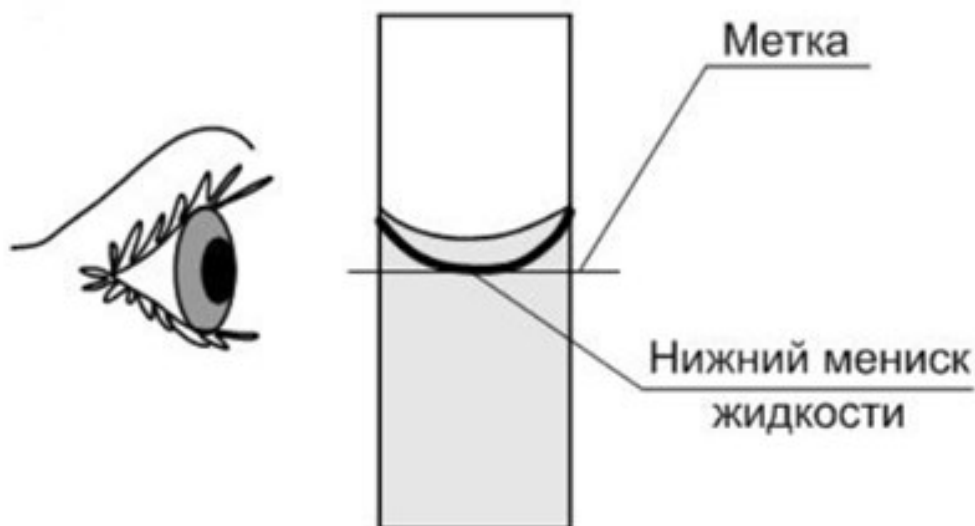


Рис. 6. Определение уровня воды по нижнему мениску

3) Просушив горло колбы, в неё аккуратно пересыпают навеску материала до момента, когда уровень воды достигнет верхней метки  $20 \text{ см}^3$  ( $V_1$ ). Критически важно избегать потерь порошка. Объем засыпанного порошка ( $V_a$ ), соответствует разнице между верхней и нижней метками колбы и определяется расчетным путем по формуле

$$V_a = V_1 - V_0 \quad (26)$$

4) Производят взвешивание оставшегося порошка в стаканчике. Для определения массы порошка, помещенного в колбу Ле-Шателье, вычитают массу остатка из первоначальной навески (100 г) по формуле

$$m_a = m_1 - m_2, \quad (27)$$

где  $m_1$  – масса начальной навески материала, г;  $m_2$  – остаток от навески материала в стаканчике после заполнения колбы, г.

5) По формуле (1) определяют истинную плотность материала. П.1-4. Повторяют еще раз. Определяют среднее арифметическое двух измерений. Результаты двух параллельных измерений не должны отличаться более чем на  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

Результаты определения истинной плотности заносят в табл. 7.

Таблица 7

### Определение истинной плотности с помощью прибора Ле-Шателье

| №<br>исп. | Масса навески в стакане<br>$m_1$ , г | Масса остатка в стакане<br>$m_2$ , г | Массу порошка, засы-<br>панного в колбу $m_a$ , г | Уровень воды по ниж-<br>ней риске $V_0$ , см <sup>3</sup> | Уровень воды по верх-<br>ней риске $V_0$ , см <sup>3</sup> | Объем засыпанного по-<br>рошка $V_a$ , см <sup>3</sup> | Истинная плотность $\rho_i$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | Среднее арифметиче-<br>ское значение $\rho_{i\text{ ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 100                                  |                                      |                                                   |                                                           |                                                            |                                                        |                                                    |                                                                               |
| 2         | 100                                  |                                      |                                                   |                                                           |                                                            |                                                        |                                                    |                                                                               |

### Определение истинной плотности с помощью пикнометра

Пикнометр изображен на рис. 7. Он имеет одно мерное деление.

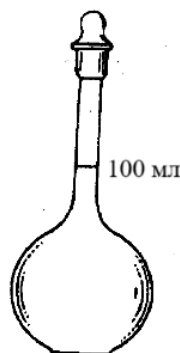


Рис. 7. Пикнометр

1. Испытуемый материал предварительно измельчают до прохождения через сито с размером ячеек 0,125 мм.
2. Взвешивают сухой чистый пикнометр ( $m_1$ ).
3. В пикнометр пересыпают предварительно приготовленную мерную пробу испытуемого материала массой 15 г и взвешивают пикнометр с материалом ( $m$ ).
4. В пикнометр с песком вливают дистиллированную воду, заполняя примерно 2/3 его объема. После аккуратного перемешивания помещают прибор на песчаную баню под наклоном. Содержимое кипятят 15-20 минут для удаления воздушных пузырьков. После охлажде-

ния до комнатной температуры доводят уровень воды до метки на горловине, вытирают поверхность пикнометра и производят взвешивание ( $m_3$ ). В рамках учебной лабораторной работы этап кипячения пропускают, сразу доводя воду до риски на горловине.

5. Пикнометр освобождают от содержимого, тщательно промывают, затем заполняют дистиллированной водой до метки на горловине. После этого поверхность прибора протирают салфеткой или бумажным полотенцем и производят взвешивание ( $m_2$ ).

6. Истинную плотность пикнометрическим способом определяют по формуле

$$\rho_{\text{и}} = \frac{(m - m_1) \cdot \rho_{\text{в}}}{m - m_1 + m_2 - m_3}, \quad (28)$$

где  $m$  – масса пикнометра с навеской, г;  $m_1$  – масса пустого пикнометра, г;  $m_2$  – масса пикнометра с дистиллированной водой, г;  $m_3$  – масса пикнометра с навеской и дистиллированной водой, наполненного до метки, г.

Измерение повторяют еще раз. Результаты определения истинной плотности заносят в табл. 8. Расхождение результатов двух параллельных испытаний истинной плотности не должно превышать значения 0,02 г/см<sup>3</sup>. В противном случае повторяют определение истинной плотности.

Таблица 8

**Определение истинной плотности пикнометрическим способом**

| № исп. | Масса пикнометра с навеской $m$ , г | Масса пустого пикнометра $m_1$ , г | Масса пикнометра с водой $m_2$ , г | Масса пикнометра с навеской и водой $m_3$ , г | Истинная плотность $\rho_{\text{и}}$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее арифметическое значение $\rho_{\text{и ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1      |                                     |                                    |                                    |                                               |                                                          |                                                                          |
| 2      |                                     |                                    |                                    |                                               |                                                          |                                                                          |

Результаты лабораторной работы объединяют в общую таблицу №6 и оформляют вывод.

**Вывод**

### Лабораторная работа № 3

#### Определение средней плотности

**Цель:** определить среднюю плотность строительных материалов, рассчитать их пористость и коэффициент плотности.

**Используемые приборы и оборудование:**

На рис. 8 изображены используемые в лабораторной работе приборы и оборудование.

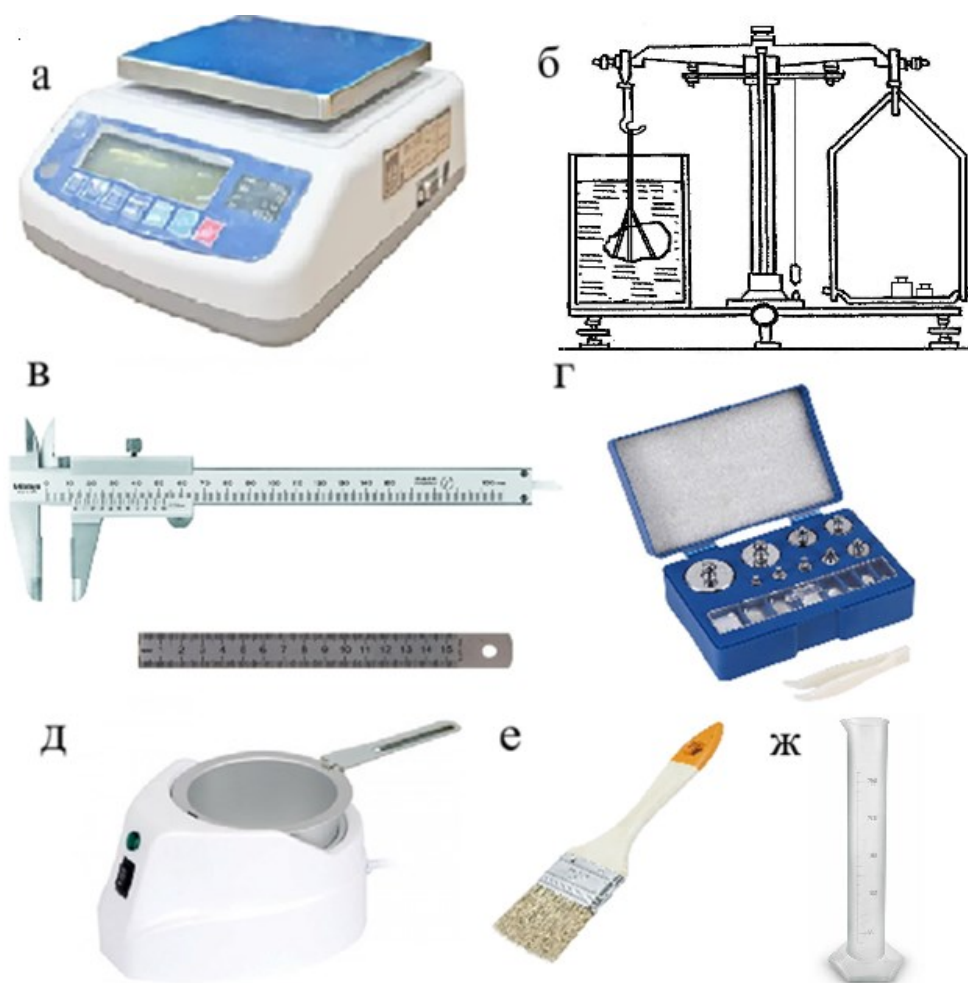


Рис. 8. Используемые приборы и материалы: а – электронные весы; б – весы для гидростатического взвешивания; в – линейка и штангенциркуль; г – набор гирь для весов; д – нагреватель для парафина; е – кисть для нанесения парафина; ж – мерный цилиндр объемом 250...500 см<sup>3</sup>;

**Ход работы:**

Студенты разбиваются на несколько звеньев каждое звено получает задание на определение средней плотности, пористости, коэффи-

циента плотности образцов правильной формы или образцов неправильной формы (табл. 9).

Таблица 9

Варианты заданий по звеньям

| № звена | Форма образцов     | Метод                                   |
|---------|--------------------|-----------------------------------------|
| 1       | Правильной формы   | Измерительный (линейка, весы)           |
| 2       | Неправильной формы | С помощью мерного цилиндра              |
| 3       | Неправильной формы | С помощью гидростатического взвешивания |

### Определение средней плотности образцов правильной формы

1. Студентам выдаются образцы различных материалов правильной формы: куб, цилиндр, параллелепипед и т.д.

2. Образцы измеряют линейкой и штангенциркулем определяя объём образца, если образцы имеют полости или пустоты, то сначала определяется объём образца по внешнему контуру, затем определяется и вычитается объём пустот.

3. Объём образцов в форме куба и параллелепипеда определяют по формуле

$$V_{\text{ест}} = a \cdot b \cdot h, \quad (29)$$

где  $a$  – длина образца, см;  $b$  – ширина образца, см;  $h$  – высота образца, см.

Объём образцов цилиндрической формы определяют по формуле

$$V_{\text{ест}} = h \cdot \frac{\pi d^2}{4}, \quad (30)$$

где  $h$  – высота цилиндра, см;  $d$  – диаметр цилиндра, см.

1. Образцы взвешивают на электронных весах определяя массу в естественном состоянии.

2. По формуле (2) определяют среднюю плотность. Результаты испытаний оформляют в табл. 10.

Таблица 10

**Определение средней плотности образцов правильной формы**

| № обр. | Материал                           | Объём<br>$V_{\text{ест}}, \text{см}^3$ | Масса<br>$m_{\text{ест}}, \text{г}$ | Средняя плотность<br>$\rho_{\text{ср}}, \text{г/см}^3$ |
|--------|------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1      | Керамический кирпич<br>полнотелый  |                                        |                                     |                                                        |
| 2      | Керамический кирпич<br>с пустотами |                                        |                                     |                                                        |
| 3      | Бетон тяжелый                      |                                        |                                     |                                                        |
| 4      | Древесина                          |                                        |                                     |                                                        |
| 5      | Пенопласт                          |                                        |                                     |                                                        |
| 6      | Сталь                              |                                        |                                     |                                                        |
| 7      | Алюминий                           |                                        |                                     |                                                        |
| 8      | ...                                |                                        |                                     |                                                        |

5) Для образцов керамического кирпича используя данные об истинной плотности из лабораторной работы №2 определяют пористость и коэффициент плотности по формулам (5), (8), (9). Данные расчёта заносят в табл. 11.

Таблица 11

**Определение пористости и коэффициента плотности**

| № обр. | Материал                           | Средняя плотность<br>$\rho_{\text{ср}}, \text{г/см}^3$ | Истинная плотность<br>$\rho_{\text{и}}, \text{г/см}^3$ | Пористость<br>П, % | Коэффициент плотности<br>$K_{\text{пл}}, \%$ |
|--------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| 1      | Керамический<br>кирпич полнотелый  |                                                        |                                                        |                    |                                              |
| 2      | Керамический<br>кирпич с пустотами |                                                        |                                                        |                    |                                              |

**Определение средней плотности образцов неправильной формы**

При определении плотности образца применяют метод, основанный на вытеснении образцом из сосуда жидкости, в которую его погружают. Для этого используют объёмомер (или мерный цилиндр) или гидростатические весы.

## Определение средней плотности с помощью мерного цилиндра

В качестве испытываемых образцов используют куски керамического кирпича неправильной формы. Среднюю плотность определяют 3 раза и находят среднее арифметическое значение.

1. Мерный цилиндр объёмом 250...500 см<sup>3</sup> наполовину наполняют водой. Фиксируют объём воды в начале испытания ( $V_0$ ).

2. Каждый испытываемый образец высушивают и взвешивают ( $m_1$ ), с помощью нагревателя растапливают парафин и с помощью кисти покрывают им образец, а потом снова взвешивают ( $m_2$ ).

3. Погружают образец в мерный цилиндр (рис. 9) и фиксируют объём воды в цилиндре ( $V_1$ ).

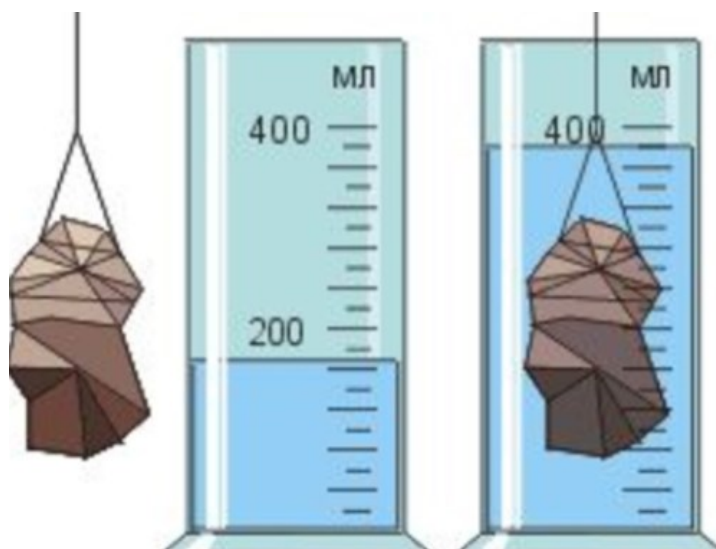


Рис. 9. Погружение образца в мерный цилиндр

4. По формуле (31) находят объём парафина затраченного на покрытие образца.

$$V_{\text{пар}} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{пар}}}, \quad (31)$$

где  $m_2$  – масса образца, покрытого парафином, г;  $m_1$  – масса сухого образца, г;  $\rho_{\text{пар}}$  – плотность парафина,  $\rho_{\text{пар}} = 0,93$  г/см<sup>3</sup>.

5. После этого по формуле (32) вычисляют среднюю плотность образца.

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m_1}{V_{\text{обр}}^{\text{пар}} - V_{\text{пар}}}, \quad (32)$$

где  $V_{\text{обр}}^{\text{пар}}$  – объём образца с парафином (численно равен объёму вытесненной воды),  $\text{см}^3$ .

$$V_{\text{обр}}^{\text{пар}} = V_1 - V_0, \quad (33)$$

где  $V_1$  – объём воды в цилиндре после погружения образца,  $\text{см}^3$ ;  $V_0$  – объём воды в цилиндре до погружения образца,  $\text{см}^3$ .

6. Результаты вычислений заносят в табл. 12.

7.

Таблица 12

**Определение средней плотности с помощью мерного цилиндра**

| №<br>обр. | Масса сухого образца<br>$m_1$ , г | Масса образца, покрытого<br>парафином<br>$m_2$ , г | Начальный объём воды<br>$V_0$ , $\text{см}^3$ | Объём воды после по-<br>гружения образца $V_1$ ,<br>$\text{см}^3$ | Объём образца с пара-<br>фином $V_{\text{обр}}^{\text{пар}}$ , $\text{см}^3$ | Объём парафина $V_{\text{пар}}$ ,<br>$\text{см}^3$ | Средняя плотность об-<br>разца $\rho_{\text{ср}}$ , $\text{г/см}^3$ | Среднее арифметиче-<br>ское значение $\rho_{\text{ср}}$ $\text{г/см}^3$ |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1         |                                   |                                                    |                                               |                                                                   |                                                                              |                                                    |                                                                     |                                                                         |
| 2         |                                   |                                                    |                                               |                                                                   |                                                                              |                                                    |                                                                     |                                                                         |
| 3         |                                   |                                                    |                                               |                                                                   |                                                                              |                                                    |                                                                     |                                                                         |

7. Используя данные об истинной плотности кирпича из лабора-торной работы № 2, выполняют расчет пористости и коэффициента плотности по формулам (5), (8), (9). Результаты оформляют в табл. 13.

Таблица 13

**Определение пористости и коэффициента плотности**

| №<br>обр. | Материал               | Средняя<br>плотность<br>$\rho_{\text{ср}}$ , $\text{г/см}^3$ | Истинная<br>плотность<br>$\rho_{\text{и}}$ , $\text{г/см}^3$ | Пористость<br>П, % | Коэффициент<br>плотности<br>$K_{\text{пл}}$ , % |
|-----------|------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|
| 1         | Керамический<br>кирпич |                                                              |                                                              |                    |                                                 |

## Определение средней плотности с помощью гидростатического взвешивания

В качестве испытуемых образцов используют куски керамического кирпича неправильной формы. Среднюю плотность определяют 3 раза и находят среднее арифметическое значение.

1) Каждый испытуемый образец высушивают и взвешивают ( $m_1$ ), с помощью нагревателя растапливают парафин и с помощью кисти покрывают им образец, а потом снова взвешивают ( $m_2$ ).

2) По формуле (31) находят объём парафина затраченного на покрытие образца.

3) Затем образец взвешивают на гидростатических весах в воде ( $m_3$ ) (Рис.10).

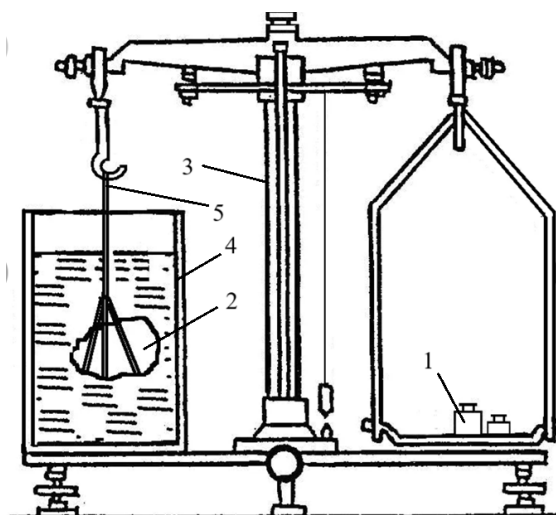


Рис.10. Гидростатическое взвешивание: 1 – гири противовесы; 2 – образец, покрытый парафином; 3 – весы технические; 4 – емкость с водой; 5 – тонкая нить

4) Вычисляют среднюю плотность образца по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m_1}{\frac{m_2 - m_3}{\rho_{\text{в}}} - V_{\text{пар}}}, \quad (34)$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, г;  $m_2$  – масса образца, покрытого парафином и взвешенного на воздухе, г;  $m_3$  – масса образца, покрытого парафином и взвешенного в воде, г;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, 1 г/см<sup>3</sup> или 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Разность значений массы парафинированного образца на воздухе  $m_2$  и в воде  $m_3$  численно равна массе вытесненной воды, а ее объем соответствует объему парафинированного образца.

5) Результаты определения средней плотности оформляют в табл. 14.

Таблица 14

**Определение средней плотности с помощью  
гидростатического взвешивания**

| №<br>обр. | Масса<br>сухого<br>образца<br>$m_1$ , г | Масса об-<br>разца с па-<br>рафином,<br>на воздухе<br>$m_2$ , г | Масса об-<br>разца с па-<br>рафином, в<br>воде<br>$m_3$ , г | Объём<br>парафина<br>$V_{\text{пар}}$ , см <sup>3</sup> | Средняя<br>плотность<br>образца<br>$\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее<br>арифме-<br>тическое<br>значение<br>$\rho_{\text{ср}}^{\text{ср}}$ г/см <sup>3</sup> |
|-----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         |                                         |                                                                 |                                                             |                                                         |                                                                           |                                                                                                |
| 2         |                                         |                                                                 |                                                             |                                                         |                                                                           |                                                                                                |
| 3         |                                         |                                                                 |                                                             |                                                         |                                                                           |                                                                                                |

7) Используя данные об истинной плотности кирпича из лабораторной работы №2, выполняют расчет пористости и коэффициента плотности по формулам (5), (8), (9). Результаты оформляют в табл. 15.

Таблица 15

**Определение пористости и коэффициента плотности**

| №<br>обр. | Материал               | Средняя<br>плотность<br>$\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> | Истинная<br>плотность<br>$\rho_{\text{и}}$ , г/см <sup>3</sup> | Пористость<br>П, % | Коэффициент<br>плотности<br>$K_{\text{пл}}$ , % |
|-----------|------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|
| 1         | Керамический<br>кирпич |                                                                |                                                                |                    |                                                 |

По результатам выполнения лабораторной работы звенья обмениваются результатами эксперимента. Для образцов керамического кирпича формируют сравнительную таблицу определения средней плотности, пористости и коэффициента плотности разными способами (табл. 16).

Таблица 16

**Сравнение средней плотности, определенной разными способами**

| № звена | Материал            | Форма образцов | Способ определения                      | Средняя плотность, $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> | Пористость П, % | Коэффициент плотности $K_{\text{пл}}$ , % |
|---------|---------------------|----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
| 1       | Керамический кирпич | Правильная     | Измерительный (линейка, весы)           |                                                           |                 |                                           |
| 2       |                     | Неправильная   | С помощью мерного цилиндра              |                                                           |                 |                                           |
| 3       |                     | Неправильная   | С помощью гидростатического взвешивания |                                                           |                 |                                           |

**Вывод****Лабораторная работа № 4****Гидрофизические свойства строительных материалов**

**Цель:** Изучение методики и порядка определения основных гидрофизических свойств строительных материалов и связанных с ними характеристик.

**Используемые приборы и оборудование:**

На рис.11 изображены используемые в лабораторной работе приборы и оборудование.

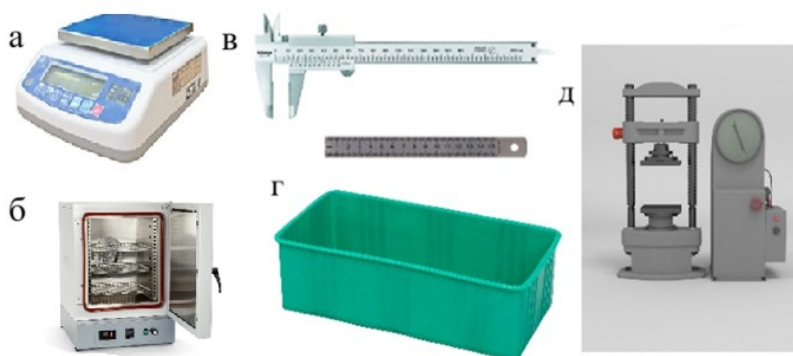


Рис.11. Используемые приборы и материалы: а - лабораторные весы; б - сушильный шкаф; в – линейка, штангенциркуль; г - емкость с водой; д - лабораторный пресс

**Ход работы:**

Студенты разбиваются на несколько звеньев, каждое звено получает задание на определение влажности строительных материалов, водопоглощения или коэффициента размягчения (табл. 17).

Таблица 17

**Вариант заданий по звеньям**

| № звена | Задание                              |
|---------|--------------------------------------|
| 1       | Определение влажности                |
| 2       | Определение водопоглощения           |
| 3       | Определение коэффициента размягчения |

**Определение влажности строительных материалов:**

Образцы материалов взвешивают в естественном состоянии, затем высушивают в сушильном шкафу при температуре 105<sup>0</sup>С до постоянной массы. После этого взвешивают повторно.

Влажность образцов рассчитывается по формуле (11), результаты определения влажности заносятся в табл. 18.

Таблица 18

**Результаты определения влажности материалов**

| № п/п | Материал            | Масса в естественном состоянии $m_{вл}$ , Г | Масса в сухом состоянии $m_{сух}$ , Г | Влажность $W_m$ , % |
|-------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1     | Бетон               | ...                                         | ...                                   | ...                 |
| 2     | Древесина           |                                             |                                       |                     |
| 3     | Кирпич керамический |                                             |                                       |                     |
| 4     | ...                 |                                             |                                       |                     |

**Определение водопоглощения строительных материалов [3]**

Водопоглощение определяют для образцов керамического кирпича, определяя массу сухого образца  $m_{сух}$ , массу образца в насыщенном водой состоянии  $m_{нас}$ , а также используя данные, полученные для керамического кирпича в предыдущих лабораторных.

1) На лабораторных весах определяют массу сухого образца  $m_{сух}$ .

2) Образец помещают в емкость и заливают водой на 1/4 от высоты образца и выдерживают в течение 2 минут.

3) Образец вынимают, обтирают влажной тканью и еще раз взвешивают ( $m_{\text{нас}}^i$ ).

4) Определить приращение массы  $\Delta m$  по формуле

$$\Delta m = m_{\text{нас}}^i - m_{\text{сух}}, \quad (35)$$

где  $m_{\text{сух}}$  - масса сухого образца, г;  $m_{\text{нас}}^i$  - масса образца после выдерживания  $i$  мин в воде.

5) Испытуемый образец снова помещают в емкость, заливают водой на половину от общей высоты образца и выдерживают в течение 2 мин.

6) Образец извлекают, обтирают влажной тканью и снова взвешивают, и определяют приращение массы  $\Delta m$ .

7) Аналогичные испытания проводят при погружении образца на три четверти от его высоты и на полную высоту, последовательно определяя приращение массы  $\Delta m$ . После чего образец оставляют в воде не менее чем на 48ч для полного водонасыщения.

8) По полученным значениям определяют водопоглощение по массе  $W_m^{\text{п}}$  и водопоглощение по объему  $W_o^{\text{п}}$  по формулам (12) и (13).

9) Для оценки морозостойкости по формуле (14) рассчитывают коэффициент насыщения пор водой  $K_{\text{н}}$ , по значению которого определяют, морозостоек материал или нет, исходя из взаимосвязи коэффициента насыщения пор водой  $K_{\text{н}}$  и морозостойкости.

Взаимосвязь  $K_{\text{н}}$  и морозостойкости: при  $K_{\text{н}} \leq 0,6$  материал считается морозостойким; при  $0,6 < K_{\text{н}} < 0,8$  — ограничено морозостойким; при  $K_{\text{н}} \geq 0,8$  — неморозостойким.

10) Результаты заносят в сводную табл. 19, а также строят график зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой (рис. 12).



Рис. 12. Шаблон для построения графика зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой

Таблица 19

### Результаты определения водопоглощения

| Показатели, ед. изм                                     | Время выдерживания в воде |       |       |       |       |     |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
|                                                         | 0 мин                     | 2 мин | 4 мин | 6 мин | 8 мин | 48ч |
| Глубина погружения образца                              | 0                         | 1/4   | 1/2   | 3/4   | 1     | 1   |
| Масса образца<br>$m_{\text{сух}}, m_{\text{нас}}^i$ , г | ✓                         | ✓     | ✓     | ✓     | ✓     | ✓   |
| Приращение массы $\Delta m_i$                           | ✓                         | ✓     | ✓     | ✓     | ✓     | ✓   |
| Водопоглощение по массе $W_m^п$ , %                     | -                         | -     | -     | -     |       |     |
| Водопоглощение по массе $W_o^п$ , %                     | -                         | -     | -     | -     |       |     |
| Коэффициент насыщения пор $K_n$                         | -                         | -     | -     | -     |       |     |

### Определение водостойкости строительных материалов [3]

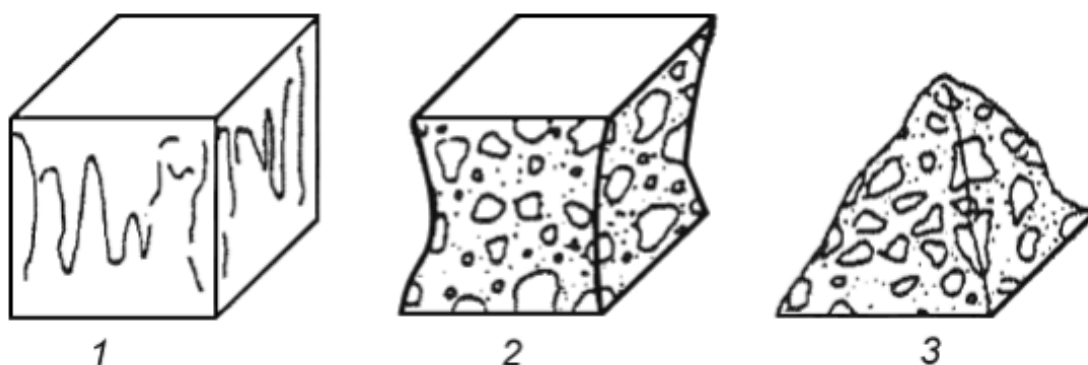
Для изучения методики оценки водостойкости используют образцы-кубы из затвердевшего гипсового вяжущего. Один образец хранился в воздушно-сухих условиях, второй предварительно был выдержан в воде.

1) Каждому образцу присваивают маркировку, затем производят измерение его граней с помощью линейки для последующего определения площади, на которую будет воздействовать нагрузка.

2) В процессе испытания сначала сухой образец, затем водонасыщенный помещают под пресс. После установки образца плита прессы опускается на его поверхность, и начинается процесс нагружения.

3) О моменте разрушения судят по остановке и началу обратного хода стрелки на силоизмерителе, а также по возникновению трещин на образце. В этот момент фиксируют значение разрушающей нагрузки ( $F$ ).

Результаты испытания считаются достоверными в том случае, если внешний вид разрушенных образцов соответствует схемам, представленным на рис. 13. При несоответствии схемы разрушения результат испытания не учитывается.



*Рис. 13. Удовлетворительные схемы разрушения образцов кубов*

Предел прочности образцов при сжатии рассчитывают по формуле (18).

Коэффициент размягчения определяют по формуле (16).

Результаты испытаний записывают в табл. 20.

Таблица 20

## Результаты определения водостойкости

| № обр | Размеры образца, мм |     |     | Площадь приложения нагрузки $S$ , мм <sup>2</sup> | Разрушающая нагрузка $F$ , Н | Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа | Коэффициент размягчения $K_p$ |
|-------|---------------------|-----|-----|---------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
|       | $a$                 | $b$ | $h$ |                                                   |                              |                                            |                               |
| 1     |                     |     |     |                                                   |                              |                                            |                               |
| 2     |                     |     |     |                                                   |                              |                                            |                               |

В завершении эксперимента по полученному коэффициенту размягчения необходимо сделать вывод о водостойкости материала.

Материал считается водостойким если  $K_p > 0,8$ . В этом случае его разрешается применять в сырых местах, без специальных защитных мер.

Анализируя результаты проведенных экспериментов, оформляют общий вывод по лабораторной работе.

**Вывод****Контрольные вопросы**

1. На какие группы делятся свойства строительных материалов?
2. От каких параметров зависят свойства строительных материалов?
3. Что такое макро и микроструктура?
4. В чем разница органических и неорганических веществ?
5. Приведите примеры материалов на основе органических и неорганических веществ.
6. Чем отличаются кристаллические и аморфные тела?
7. Какие свойства строительных материалов относятся к структурным характеристикам?
8. Какие различают плотности у строительных материалов? В чем их различие?

9. Дайте определение пористости и пустотности.
10. Как называются свойства материалов, связанные с их взаимодействием с водой?
11. Перечислите гидрофизические свойства строительных материалов.
12. Как влажность материала сказывается на его свойствах?
13. Дайте определение влажности строительных материалов.
14. Дайте определение водопоглощения строительных материалов.
15. Каким образом оценивается водостойкость строительных материалов?
16. Дайте определение морозостойкости строительных материалов. В каких единицах измеряется морозостойкость материала?
17. Что называется гигроскопичностью строительных материалов?
18. Что называется водопроницаемостью и водонепроницаемостью строительных материалов?
19. Что называется влажностными деформациями строительных материалов?
20. Перечислите теплофизические свойства строительных материалов.
21. Что такое теплопроводность и какие свойства материала влияют на неё?
22. Дайте определение теплоемкости.
23. Каким показателем оценивают тепловое расширение строительных материалов?
24. К чему может привести жесткое соединение материалов с разными коэффициентами теплового расширения?
25. Дайте определение огнестойкости, горючести и огнеупорности.
26. Как называют вещества, которыми покрывают конструкции для повышения огнестойкости?

27. Какие свойства строительных материалов относятся к акустическим?
28. От каких других свойств могут зависеть акустические свойства строительных материалов?
29. Какие свойства строительных материалов относятся к механическим?
30. Дайте определение прочности?
31. С помощью каких показателей характеризуют прочность строительных материалов?
32. Что такое твёрдость строительных материалов?
33. Какими способами определяют твёрдость строительных материалов?
34. Дайте определение истираемости.
35. В чем различие абсолютной и относительной деформации?
36. Какой материал наиболее деформативный с модулем упругости 100 МПа или 10 000 МПа?
37. Дайте определение ползучести.
38. Какие свойства материалов можно отнести к химическим?
39. Что такое коррозия?
40. Какие основные вещества вызывают коррозию строительных материалов?
41. Для каких строительных материалов важна химическая активность?
42. Какое свойство характеризует степень измельчения вещества?
43. Как проводится измерение насыпной плотности материала?
44. Какие измерительные приборы используются для определения истинной плотности?
45. Как проводится измерение истинной плотности?
46. Какие методы применяются для определения средней плотности строительных материалов?
47. Как измерить среднюю плотность образцов правильной геометрической формы?

48. Какая методика используется для определения средней плотности образцов неправильной геометрической формы?

49. Опишите методику определения влажности строительных материалов.

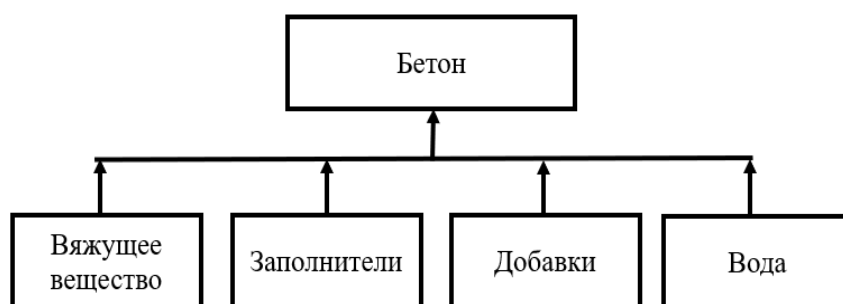
50. Опишите методику определения водопоглощения строительных материалов.

51. При каком коэффициенте размягчения материал считается водостойким?

## 2. СВОЙСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕТОНА

### 2.1. Назначение и классификация заполнителей

**Заполнители** – это каменные материалы естественного или искусственного происхождения с определённым размером зёрен, которые в сочетании с вяжущим веществом образуют бетон. На рис. 14 представлены основные компоненты необходимые для получения бетона [9].



*Рис. 14. Основные компоненты бетона*

#### **Назначение заполнителей [9]:**

- до 80% всего объема бетона приходится на заполнители, что позволяет значительно уменьшить содержание цемента и прочих вяжущих веществ – самых дорогих и дефицитных компонентов в составе бетона.

- при твердении цементного камня неизбежно возникают усадочные процессы, вызывающие внутренние напряжения и последующее растрескивание. Такие дефекты, даже незаметные глазу, серьезно ухудшают характеристики материала. Заполнитель, формируя прочный скелет, минимизирует эти негативные процессы.

- заполнитель формирует надежный каркас и способствует повышению прочностных характеристик бетона, может повышать его модуль упругости и снижает ползучесть бетона.

- использование пористых заполнителей в составе бетона значительно снижает его массу и плотность, одновременно улучшая его теплоизоляционные свойства.

- применение в бетонных конструкциях особо тяжелых и гидратных заполнителей придает им защитные свойства от проникающей радиации (например, на атомных электростанциях).

### **Классификация заполнителей:**

Заполнители для бетона классифицируются по следующим основным признакам: плотность, происхождение, крупность зёрен, характер формы зёрен, назначение (рис. 15) [9].

1) **По плотности** заполнители подразделяют на:

- плотные (плотность зёрен более  $2,0 \text{ г/см}^3$ );
- пористые (плотность зёрен менее  $2,0 \text{ г/см}^3$ );

2) **По происхождению** заполнители подразделяют на:

- природные;
- из отходов промышленности;
- искусственные (специально приготовленные);

Природные заполнители и заполнители из отходов промышленности получают без изменения их химического состава и фазового состояния. Искусственные заполнители характеризуются видом сырья (природное, из отходов промышленности или их смесь) и технологиями производства (способ обработки).

Также заполнители можно подразделить на:

- неорганические (щебень, гравий, песок из горных пород и т.д.);
- органические (отходы переработки, заготовки древесины, отходы сельского хозяйства, частицы пластика, резины и т.д.);

3) **По крупности зёрен** заполнители подразделяют на:

- крупные – размер зёрен более 5 мм (гравий, щебень);
- мелкие – размер зёрен до 5 мм (песок);

4) **По характеру формы зёрен** заполнители подразделяют на:

- угловатой (неправильной) формы, получаемые дроблением (щебень, песок из отсеков дробления);
- округлой, окатанной формы (гравий, природный песок);

5) **По назначению** заполнители можно классифицировать следующим образом:

- для тяжелых бетонов;
- для лёгких бетонов;
- для мелкозернистых бетонов;
- для специальных бетонов (жаростойких, химически стойких, декоративных, радиационно-защитных и т.д.)

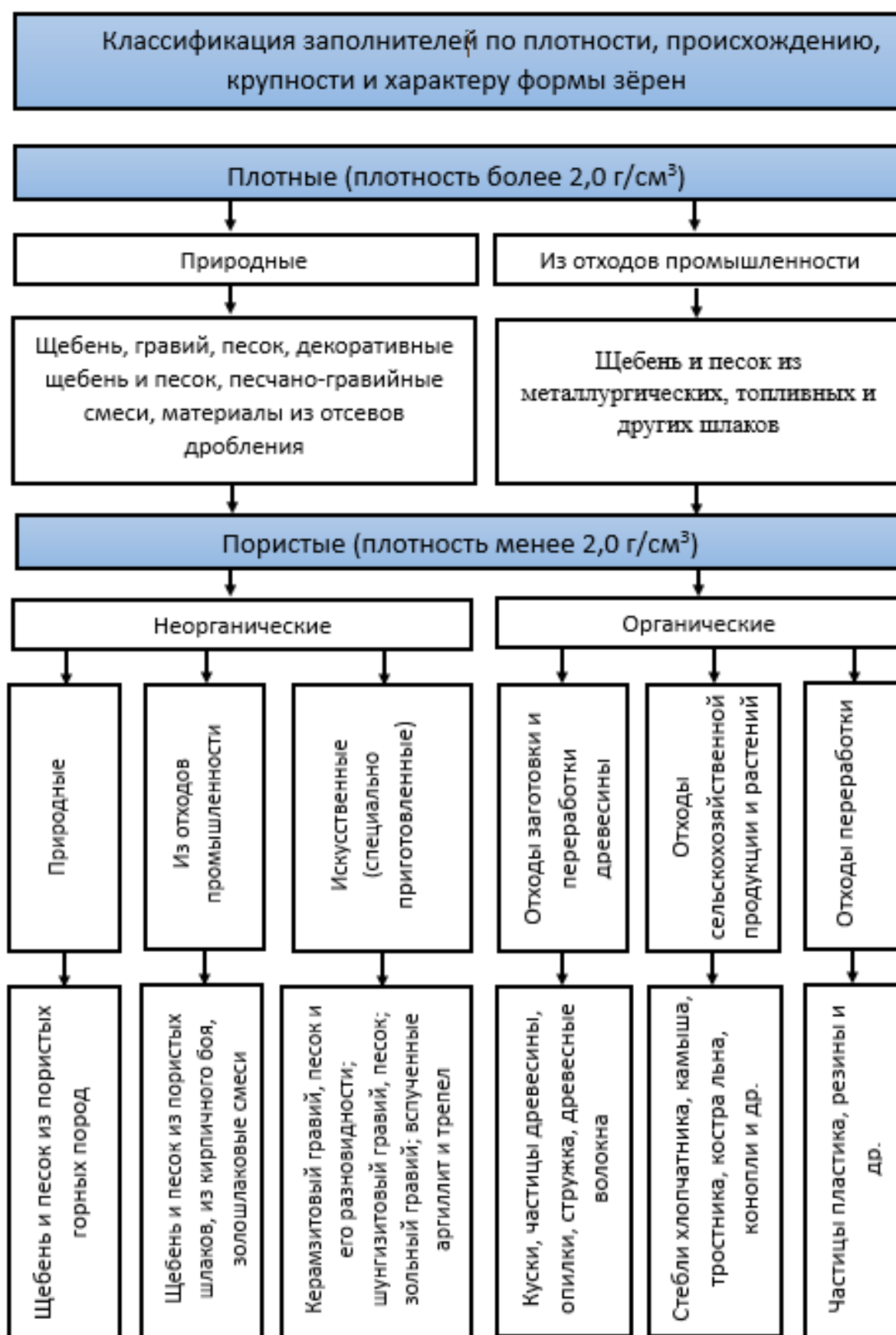


Рис. 15. Классификация заполнителей

## 2.2. Основные свойства заполнителей

Для заполнителей определяют следующие основные свойства [9]:

- насыпная плотность  $\rho_{\text{нас}}$ ;
- средняя плотность зёрен  $\rho_{\text{ср}}$ ;
- истинная плотность вещества заполнителя  $\rho_{\text{ист}}$ ;
- межзерновая пустотность  $V_{\text{пуст}}$ ;
- пористость зёрен заполнителя  $P$ , %;
- влажность  $W_m$ , %;
- водопоглощение по массе  $W_m^{\text{п}}$ , %;
- удельная поверхность  $S_{\text{уд}}$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$ ,  $\text{м}^2/\text{кг}$ ;
- водостойкость и коэффициент размягчения  $K_p$ ;
- морозостойкость  $F$ , циклы;
- форма зёрен заполнителя;
- гранулометрический состав;
- прочность, дробимость  $D_p$ .

Большая часть свойств так или иначе была затронута в главе с основными свойствами строительных материалов. В этой главе затронем такие свойства как форма зёрен заполнителя, гранулометрический состав, прочность (дробимость).

Геометрическая **форма частиц** заполнителя является определяющим фактором при оценке его насыпной плотности и пустотности. Она напрямую влияет на то, как плотно зёрна могут быть упакованы в заданном объёме.

В щебне и гравии определяют содержание пластичнатых и игловатых зёрен толщина и ширина которых в 3 раза меньше длины.

Иногда для заполнителей определяют коэффициент формы зёрен [9].

$$k_{\phi} = \frac{D_{\text{наиб}}}{D_{\text{наим}}}, \quad (36)$$

где  $D_{\text{наиб}}$  — наибольший размер зерна, мм;  $D_{\text{наим}}$  — наименьший размер зерна, мм.

Поскольку зерна заполнителей зачастую имеют неправильную форму и поверхность их может быть сильно развитой, коэффициент формы, вычисляемый по формуле (36), не всегда её характеризует в полной мере. Поэтому, иногда пользуются и другими коэффициентами, например [9],

$$k_{\phi} = \frac{S_{\text{зап}}}{S_{\text{шар}}}, \quad (37)$$

где  $S_{\text{зап}}$  – удельная поверхность заполнителя,  $\text{см}^2/\text{г}$ ;  $S_{\text{шар}}$  – удельная поверхность шаров той же крупности,  $\text{см}^2/\text{г}$ .

**Гранулометрический состав** заполнителя отражает содержание в нём зёрен различных размеров. Его определяют с помощью ситового анализа, пропуская пробу материала через комплект стандартных сит с размером ячеек от 0,14 до 70 мм [9].

Для достижения оптимальной прочности бетона при экономичном расходе цемента критически важен правильный подбор **зернового состава песка**. В структуре бетонной смеси песок заполняет пустоты между зернами крупного заполнителя. Цементное тесто в свою очередь должно полностью заполнять пустоты между песчинками и покрывать каждую частицу. Чтобы уменьшить расход цемента, следует выбирать песок с минимальной пустотностью и наименьшей удельной поверхностью. Оптимальным решением являются крупные пески с правильным балансом средних и мелких фракций. Они обеспечивают минимальную пустотность при небольшой удельной поверхности частиц и способствуют формированию плотной бетонной структуры при рациональном расходе вяжущего материала.

Зерновой состав песка определяется просеиванием пробы песка через комплект сит следующего размера: 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 мм и характеризуется процентным содержанием в нем зерен различного размера. Подробно анализ зернового состава песка рассмотрен в разделе лабораторный практикум.

**Зерновой состав крупного заполнителя** в значительной мере влияет на качество приготовленного на нем бетона. При выборе зернового состава заполнителя для тяжелого бетона основное требование – получить наименьший объём межзерновых пустот, а следовательно, наименьший расход цемента при заданной прочности.

Заполнитель характеризуют **наименьшей и наибольшей крупностью**.

**Наименьшей крупностью**  $D_{\text{наим}}$  принято считать размер отверстий того из стандартных сит на котором при просеивании остается не менее 95% пробы заполнителя (по массе), т. е. сквозь которое пройдет не более 5% [9].

**Наибольшей крупностью**  $D_{\text{наиб}}$  принято считать размер отверстий того сита, через которое пройдет не менее 95% пробы заполнителя, а остается менее 5% [9].

Соответственно этим параметрам заполнитель характеризуют, например щебень крупностью 5...20 мм ( $D_{\text{наим}} = 5$  мм;  $D_{\text{наиб}} = 20$  мм).

**Монофракционный** заполнитель отличается тем, что его зёрна имеют близкие размеры, соответствующие смежным ситам (например, 10-20 мм). **Полифракционный** же заполнитель содержит несколько фракций в более широком диапазоне (например, 5-20 мм) [9].

При комбинировании разных фракций достигается более высокая плотность упаковки: мелкие частицы заполняют пространство между крупными зёрнами, что уменьшает общую пустотность.

При необходимости можно применять заполнитель с более узким диапазоном фракций, например, 10-15 мм или 15-20 мм.

Если при просеивании заполнителя через набор стандартных сит (от сита с размером отверстий  $D_{\text{наиб}}$  до сита с отверстиями  $D_{\text{наим}}$ ) обнаруживаются остатки на каждом сите, такой состав считается **непрерывным**. При отсутствии каких-либо промежуточных фракций зерновой состав определяется как **прерывистый** [9].

Подробнее анализ зернового состава крупного заполнителя рассмотрен в разделе лабораторный практикум.

**Прочность** исходной породы заполнителя возможно определить следующим образом: с помощью бурильного или камнерезного станка изготавливают образцы в виде цилиндра диаметром и высотой 40...50 мм или куба с таким же размером ребра, испытывают их на сжатие в гидравлическом прессе в насыщенном водой состоянии и определяют предел прочности [9].

Однако не всегда возможно провести испытание таким образом, особенно если исходная порода имеет крупные трещины или поры. При дроблении такой породы мелкие фракции щебня получаются до-

статочно прочными, так как в процессе измельчения устраняются дефекты, характерные для цельной породы. Однако испытания крупных образцов могут показать заниженные показатели прочности, не соответствующие реальному качеству материала.

Проверка прочности готового щебня представляет определенные сложности: образцы исходной породы для испытаний часто недоступны. А что касается гравия, его вообще практически невозможно протестировать на сжатие напрямую. В связи с этим, стандарты предусматривают косвенные методы определения прочности заполнителей через специальные механические испытания. В частности, для щебня из натурального камня, гравия и щебня из гравия применяется испытание на дробимость при сжатии в стальном цилиндре.

Для проведения испытания в цилиндр диаметром 150 мм засыпают щебень или гравий одной фракции. Затем в цилиндр помещают стальной плунжер меньшего диаметра, через который с помощью гидравлического пресса оказывается давление 200 кН. В ходе испытания щебень частично дробится.

Извлеченный из цилиндра материал взвешивают и просеивают через сито, размер ячеек которого в четыре раза меньше наименьшего номинального диаметра зерен испытываемой фракции. При этом для фракции 5-10 мм применяется сито с отверстиями 1,25 мм; для фракции 10-20 мм - 2,5 мм; для фракции 20-40 мм - 5 мм. По остатку на сите после просеивания определяют показатель дробимости щебня (гравия) [9].

$$D_p = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100, (38)$$

где  $m_1$  – масса навески щебня (гравия) до испытания, кг;  $m_2$  – остаток на сите после просеивания раздробленного в цилиндре щебня (гравия), кг.

В зависимости от потери массы при испытании на дробимость при сжатии в цилиндре щебень и гравий делят на марки 200, 300, 400, 600 ... 1400.

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

## Лабораторная работа № 5 Анализ зернового состава песка

**Цель:** Изучение методики и порядка анализа зернового состава песка. Изучение методики расчета модуля крупности песка и определения его группы. Знакомство с методикой построения графика гранулометрического состава песка.

### Используемые приборы и оборудование:

На рис. 16 изображены используемые в лабораторной работе приборы и оборудование.



*Рис. 16. Используемые приборы и оборудование: а – электронные весы; б – набор мерных цилиндров; в – стандартный набор сит с размерами отверстий 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 мм; г – металлический или пластиковый совок для отбора навески; д – виброплощадка*

### Ход работы:

Студенты разбиваются на несколько звеньев, каждое звено получает песок разной крупности, определяет его зерновой состав, выполняет построение графика зернового состава, расчет модуля крупности и определяет группу песка.

1) Подготавливают аналитическую пробу песка весом не менее 2000 грамм и высушивают её до постоянной массы.

2) Просеивают подготовленную пробу через комплект сит с круглыми отверстиями размером 5 и 10 мм.

3) После этого производят взвешивание остатков на ситах с отверстиями 5 и 10 мм. На основе полученных данных рассчитывают процентное содержание фракций гравия: от 5 до 10 мм и более 10 мм - по массе, используя соответствующие формулы:

$$\Gamma_{p_{10}} = \frac{m_{10}}{m} \cdot 100, \quad (39)$$

$$\Gamma_{p_5} = \frac{m_5}{m} \cdot 100, \quad (40)$$

где  $m_{10}$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г;  $m_5$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 мм, г;  $m$  – масса пробы, г.

4) Из пробы песка, прошедшей через сито 5 мм отбирают образец массой не менее 1000 грамм для исследования зернового состава.

5) Далее подготовленную пробу песка просеивают через набор сит: сито с круглыми отверстиями 2,5 мм и сита с сеткой с размерами ячеек 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм.

6) Просеивание материала можно выполнять двумя методами: на специальной виброплощадке или вручную. О завершении просеивания можно судить по отсутствию падения зёрен при интенсивном встряхивании сита над листом бумаги.

7) По окончанию просеивания массу взвешивают массу частиц песка на каждом сите ( $m_i$ ).

8) Определяют частные остатки на каждом сите по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (41)$$

где  $m_i$  – масса частиц песка на данном сите, г;  $m$  – масса просеиваемой навески, г.

9) Определяют полные остатки на каждом сите по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + I + a_i, \quad (42)$$

где  $A_i$  – полный остаток на сите в процентах (сумма частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстий);  $a_{2,5}, a_{1,25} \dots a_i$  – частные остатки на соответствующих ситах в процентах.

10) Определяют модуль крупности песка по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100} \quad (43)$$

Модуль крупности – это безразмерный показатель, который вычисляют как отношение суммы полных остатков на ситах 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 выраженных в процентах от массы пробы ко всей массе пробы, принятой за 100%.

В зависимости от модуля крупности песок классифицируют на группы. Группы песка в зависимости от модуля крупности представлены в табл. 21.

Таблица 21

**Группы песка в зависимости от модуля крупности [10]**

| Группа песка         | Модуль крупности $M_k$ |
|----------------------|------------------------|
| Повышенной крупности | Св. 3,0 до 3,5         |
| Крупный              | Св. 2,5 до 3,0         |
| Средний              | Св. 2,0 до 2,5         |
| Мелкий               | Св. 1,5 до 2,0         |
| Очень мелкий         | Св. 1,0 до 1,5         |
| Тонкий               | Св. 0,7 до 1,0         |
| Очень тонкий         | До 0,7                 |

Полный остаток на сите 0,63 должен соответствовать значениям, указанным в табл. 22.

Таблица 22

**Полный остаток песка на сите 0,63  
для разных групп песка, % [10]**

| Группа песка         | Полный остаток на сите 0,63, % |
|----------------------|--------------------------------|
| Повышенной крупности | Св. 65 до 75                   |
| Крупный              | Св. 45 до 65                   |
| Средний              | Св. 30 до 45                   |
| Мелкий               | Св. 10 до 30                   |
| Очень мелкий         | До 10                          |
| Тонкий               | Не нормируется                 |
| Очень тонкий         | Не нормируется                 |

Содержание в песке зёрен крупностью свыше 5 мм, свыше 10 мм и менее 0,14 мм должно соответствовать значениям в табл. 23. Для песков для асфальтобетонных смесей содержание тонкой фракции менее 0,14 мм не нормируется.

Таблица 23

**Содержание в песке зёрен крупностью от 5 до 10 мм, свыше 10 мм  
и менее 0,14 мм [10]**

| Класс<br>песка | Группа песка                                     | Содержание зёрен крупностью |                     |                     |
|----------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
|                |                                                  | Св. 10 мм                   | Св. 5 мм            | Менее 0,14 мм       |
| I              | Повышенной<br>крупности, круп-<br>ный<br>средний | 0,5                         | 5                   | 5                   |
|                | Мелкий                                           | 0,5                         | 5                   | 10                  |
| II             | Повышенной<br>крупности                          | 5                           | 20                  | 10                  |
|                | Крупный и сред-<br>ний                           | 5                           | 15                  | 15                  |
|                | Мелкий и очень<br>мелкий                         | 0,5                         | 10                  | 20                  |
|                | Тонкий и очень<br>тонкий                         | Не нормиру-<br>ется         | Не нормиру-<br>ется | Не нормирует-<br>ся |

Результат определения зернового состава песка оформляют в соответствии с табл.24.

## Результаты определения зернового состава песка

| Наименование<br>остатка           | Размеры отверстий в ситах, мм |      |      |       |      |        | Модуль круп-<br>ности $M_k$ | Группа песка |
|-----------------------------------|-------------------------------|------|------|-------|------|--------|-----------------------------|--------------|
|                                   | 2,5                           | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | поддон |                             |              |
| Масса песка на сите ( $m_i$ )     |                               |      |      |       |      |        |                             |              |
| Частный остаток на сите ( $a_i$ ) |                               |      |      |       |      |        |                             |              |
| Полный остаток на сите ( $A_i$ )  |                               |      |      |       |      |        |                             |              |

По итогам анализа зернового состава песка строится графическая кривая в соответствии с образцом, представленным на рис.17 [11]. Песок признается пригодным для бетонных работ, если его кривая находится в заштрихованной зоне графика. В верхней части относительно заштрихованной зоны располагается область мелких песков, в нижней – область крупных песков.

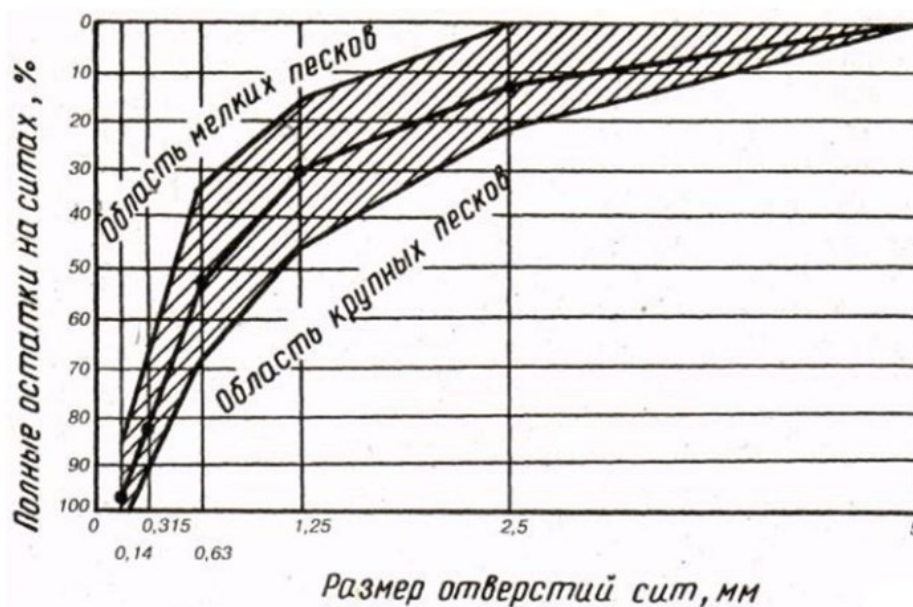


Рис.17. Пример графика зернового состава песка

По результатам выполнения лабораторной работы звенья обмениваются результатами эксперимента. Формируется общая таблица результатов (Табл.25) и оформляется вывод.

Таблица 25

Результаты лабораторной работы

| № звена | Модуль крупности $M_k$ | Группа песка |
|---------|------------------------|--------------|
| 1       | ✓                      | ✓            |
| 2       | ✓                      | ✓            |
| 3       | ✓                      | ✓            |
| 4       | ✓                      | ✓            |

## Вывод

### Лабораторная работа № 6 Свойства крупного заполнителя

**Цель:** Изучение методики и порядка анализа свойств крупного заполнителя: насыпная плотность, средняя плотность зёрен, пустотность, зерновой состав, дробимость.

#### Используемые приборы и оборудование:

На рис. 18 изображены используемые в лабораторной работе приборы и оборудование.

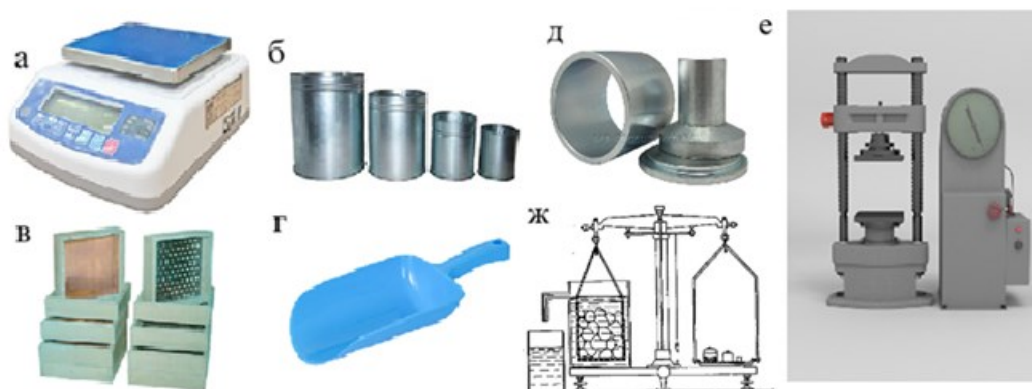


Рис. 18. Используемые приборы и оборудование: а – электронные весы; б – набор мерных цилиндров; в – стандартный набор сит с размерами отверстий 70, 40, 20, 10, 5 мм; г – металлический или пластиковый совок для отбора навески; д – цилиндр со съёмным дном и плунжером; ж – весы для гидростатического взвешивания; е – пресс лабораторный;

### Ход работы:

Студенты разбиваются на несколько звеньев, каждое звено получает различный щебень, определяет его насыпную плотность, среднюю плотность зёрен, пустотность, зерновой состав и дробимость.

### Определение зернового состава щебня:

Для проведения испытаний берется высушенная до постоянной массы проба заполнителя. Необходимая масса образца определяется по табл. 26 исходя из наибольшего диаметра зёрен заполнителя.

Таблица 26

**Масса пробы в зависимости от наибольшего диаметра зёрен [13]**

| Наибольший диаметр зёрен, мм | Масса пробы, кг |
|------------------------------|-----------------|
| 10                           | 5               |
| 20                           | 10              |
| 40                           | 20              |
| Св. 40                       | 40              |

1) Процесс просеивания пробы может осуществляться двумя методами: вручную или с использованием виброплощадки. Для испытания применяется набор сит с размерами ячеек 70, 40, 20, 10 и 5 мм, которые предварительно устанавливаются в колонку, начиная с сита, имеющего наименьшие отверстия. Просеивание завершается, когда при активном встряхивании сита над бумагой не происходит падение частиц материала.

2) По результатам просеивания на электронных весах определяют массу зёрен заполнителя на каждом отдельно взятом сите ( $m_i$ ).

3) Далее по формуле (44) определяют частные остатки на ситах в % от суммарной массы просеянной пробы.

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (44)$$

где  $m_i$  – массу зёрен заполнителя на данном сите, г;  $m$  – масса просеиваемой пробы, г.

4) Определяют полные остатки на каждом сите по формуле

$$A_i = a_{70} + \dots + a_i, \quad (45)$$

где  $A_i$  – полный остаток на сите в процентах (сумма частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстий);  $a_{70}, \dots, a_i$  – частные остатки на соответствующих ситах в процентах.

5) Определяют наибольшую  $D_{\text{наиб}}$  и наименьшую  $D_{\text{наим}}$  крупность зёрен заполнителя. За наибольшую принимают размер зёрен того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5 %, а за наименьшую – размер отверстия нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 95 %.

6) Результаты анализа зернового состава заносят в табл. 27.

Таблица 27

**Результаты анализа зернового состава**

| Наименование<br>остатка                | Размеры отверстий сит, мм |    |    |    |   |             | $D_{\text{наим}}$ ,<br>мм | $D_{\text{наиб}}$ ,<br>мм |
|----------------------------------------|---------------------------|----|----|----|---|-------------|---------------------------|---------------------------|
|                                        | 70                        | 40 | 20 | 10 | 5 | под-<br>дон |                           |                           |
| Масса заполнителя<br>на сите ( $m_i$ ) |                           |    |    |    |   |             |                           |                           |
| Частный остаток<br>на сите ( $a_i$ )   |                           |    |    |    |   |             |                           |                           |
| Полный остаток на<br>сите ( $A_i$ )    |                           |    |    |    |   |             |                           |                           |

### Определение насыпной плотности:

Знание насыпной плотности крупного заполнителя является важным параметром при составлении рецептуры бетона. Этот показатель также учитывается при организации транспортировки щебня и разработке складских помещений для хранения крупного заполнителя.

### Порядок определения:

1) Взвешивают пустой мерный цилиндр ( $m_1$ ), объём цилиндра принимают в зависимости от крупности заполнителя (табл. 28).

Таблица 28

**Размеры мерных цилиндров в зависимости  
от крупности заполнителя [9]**

| Наибольшая крупность зёрен, мм | Вместимость мерного сосуда | Внутренние размеры сосуда, мм |        |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------|
|                                |                            | Диаметр                       | Высота |
| 5 и менее                      | 1                          | 108                           | 108,5  |
| 10                             | 2                          | 137                           | 136,5  |
| 20                             | 5                          | 185                           | 186,5  |
| 40                             | 10                         | 234                           | 233,8  |

2) В мерный цилиндр производят насыпку предварительно высушенного заполнителя с высоты 10 см, до образования над верхом сосуда конуса.

3) Не сдвигая сосуд (во избежание уплотнения заполнителя), линейкой срезают конус и сосуд с заполнителем взвешивают ( $m_2$ ).

По формуле (46) определяют насыпную плотность.

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{(m_2 - m_1)}{V}, \quad (46)$$

где  $m_2$  – масса цилиндра с заполнителем, кг;  $m_1$  – масса пустого мерного цилиндра;  $V$  – объём мерного цилиндра, м<sup>3</sup>.

Насыпную плотность определяют два раза, за результат принимают среднее арифметическое двух испытаний.

4) Результаты определения насыпной плотности оформляют в табл. 29.

Таблица 29

**Определение насыпной плотности заполнителя**

| № исп. | Масса цилиндра с заполнителем<br>$m_2$ , г | Масса пустого цилиндра<br>$m_1$ , г | Объём цилиндра<br>$V$ , см <sup>3</sup> | Насыпная плотность<br>$\rho_{\text{нас}}$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее значение<br>$\rho_{\text{нас}}^{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|--------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1      |                                            |                                     |                                         |                                                               |                                                                         |
| 2      |                                            |                                     |                                         |                                                               |                                                                         |

## Определение средней плотности зёрен:

Среднюю плотность зерен щебня вычисляют методом гидростатического взвешивания, при котором измеряется масса единицы объема заполнителя.

1) Высушенную до постоянной массы пробу заполнителя просеивают через сито с отверстиями, соответствующими наименьшему номинальному размеру зёрен данной фракции щебня. После этого из материала, оставшегося на сите, отбирают пробу массой 1 кг ( $m_1$ ).

2) Пробу погружают в воду комнатной температуры на 2 часа. Уровень воды должен быть выше поверхности щебня как минимум на 20 мм.

3) После насыщения водой пробу щебня извлекают из жидкости и обтирают мягкой тканью. Затем незамедлительно производят взвешивание: сначала на электронных весах ( $m_2$ ), после чего на гидростатических весах ( $m_3$ ) с использованием сетчатого стакана, погруженного в воду.

4) Среднюю плотность зёрен щебня вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \rho_{\text{в}}, \quad (47)$$

где  $m_1$  – масса пробы в сухом состоянии, г;  $m_2$  – масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г;  $m_3$  – масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>.

5) За результат принимают среднее арифметическое значение испытания двух проб заполнителя. Результаты определения средней плотности зёрен заполнителя оформляют в табл. 30.

Таблица 30

Определение средней плотности заполнителя

| № исп. | Масса пробы в сухом состоянии<br>$m_1$ , г | масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе<br>$m_2$ , г | масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде $m_3$ , г | Средняя плотность<br>$\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее значение<br>$\rho_{\text{ср}}^{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|--------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1      |                                            |                                                                  |                                                           |                                                             |                                                                        |
| 2      |                                            |                                                                  |                                                           |                                                             |                                                                        |

### Определение пустотности:

Пустотность заполнителя определяют расчетным путем на основании предварительно установленных средней плотности зёрен и насыпной плотности заполнителя.

Пустотность определяется по формуле [9]

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{ср}}}\right) \cdot 100\%, \quad (48)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность зерен заполнителя, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{нас}}$  – насыпная плотность заполнителя, г/см<sup>3</sup>.

### Определение дробимости щебня:

Определение дробимости производят по степени разрушения зёрен заполнителя при сжатии в цилиндре, изображенном на рис. 19.

При испытании заполнителя, состоящего из нескольких фракций, исходный материал отсеивают на стандартные фракции и испытывают каждую фракцию отдельно (в лабораторной работе испытывают 1 фракцию на выбор 5-10, 10-20, или 20-40).

При испытании используют цилиндр диаметром 150 мм.

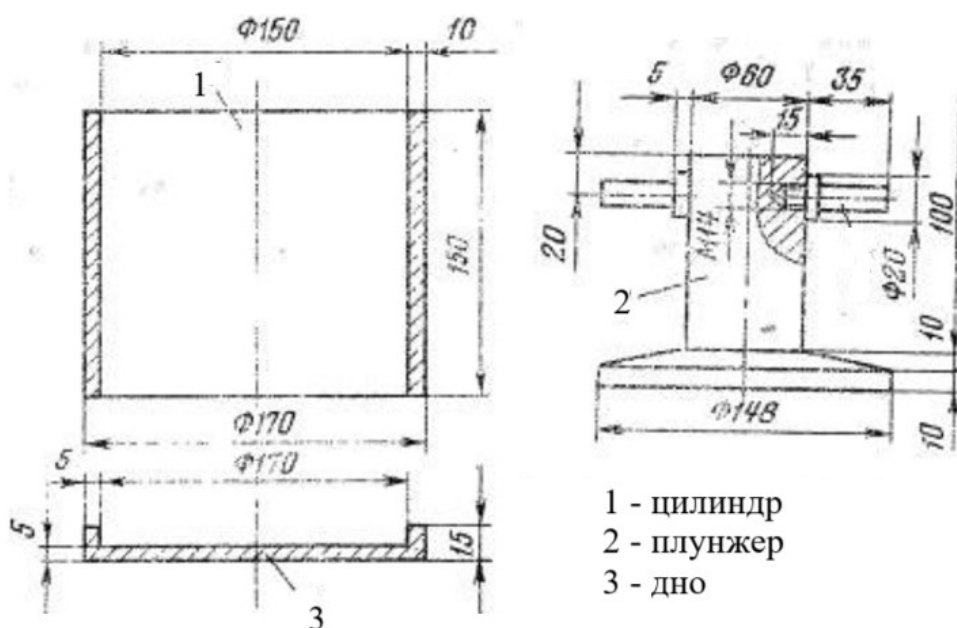


Рис. 19. Цилиндр со съёмным дном и плунжер для испытания щебня на дробимость [13]

1) Заполнитель помещают в цилиндр, засыпая материал с высоты 5 см. После распределения заполнителя его поверхность должна находиться на 15 мм ниже верхнего края цилиндра.

2) В цилиндр устанавливают плунжер, добиваясь точного совпадения уровня его плиты с верхним краем цилиндра. При необходимости корректировки положения добавляют или удаляют небольшое количество зерен щебня.

3) Цилиндр устанавливают под пресс, после чего плавно увеличивают нагрузку со скоростью 1-2 кН в секунду до достижения 200 кН.

4) Пробу материала извлекают из цилиндра и производят взвешивание ( $m_1$ ), далее осуществляют просеивание через сито с отверстиями определенного размера, который выбирается в соответствии с испытываемой фракцией согласно табл. 31.

Таблица 31

**Размер отверстий сита в зависимости от испытываемой фракции**

| Испытываемая фракция<br>Заполнителя, мм | Размер отверстий сита, мм |
|-----------------------------------------|---------------------------|
| 5-10                                    | 1,25                      |
| 10-20                                   | 2,5                       |
| 20-40                                   | 5                         |

5) После завершения просеивания производят взвешивание оставшегося на сите заполнителя ( $m_2$ ).

6) Вычисляют дробимость по формуле (38).

7) Результат определяется как среднее арифметическое двух параллельно выполненных испытаний. Результаты определения дробимости заносят в табл. 32:

Таблица 32

**Результаты определения дробимости**

| № исп. | Масса навески<br>до испытания<br>$m_1$ , г | Масса остатка<br>на контрольном сите $m_2$ , г | Показатель<br>дробимости<br>$D_p$ , % | Среднее арифметическое<br>$D_p^{cp}$ , % |
|--------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| 1      |                                            |                                                |                                       |                                          |
| 2      |                                            |                                                |                                       |                                          |

8) По табл. 33-35 определяют марку заполнителя по дробимости.

*Таблица 33*

**Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород [12]**

| Марка по дробимости | Потеря массы при испытании, % |                              |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                     | В сухом состоянии             | В насыщенном водой состоянии |
| 1200                | До 11 вкл.                    | До 11 вкл.                   |
| 1000                | Св. 11 до 13                  | Св. 11 до 13                 |
| 800                 | Св. 13 до 15                  | Св. 13 до 15                 |
| 600                 | Св. 15 до 19                  | Св. 15 до 20                 |
| 400                 | Св. 19 до 24                  | Св. 20 до 28                 |
| 300                 | Св. 24 до 28                  | Св. 28 до 38                 |
| 200                 | Св. 28 до 35                  | Св. 38 до 54                 |

*Таблица 34*

**Марка по дробимости щебня из изверженных пород [12]**

| Марка по дробимости | Потеря массы при испытании, % |                     |
|---------------------|-------------------------------|---------------------|
|                     | Из интрузивных пород          | Из эффузивных пород |
| 1400                | До 12 вкл.                    | До 9 вкл.           |
| 1200                | Св. 12 до 16                  | Св. 9 до 11         |
| 1000                | Св. 16 до 20                  | Св. 11 до 13        |
| 800                 | Св. 20 до 25                  | Св. 13 до 15        |
| 600                 | Св. 25 до 34                  | Св. 15 до 20        |

*Таблица 35*

**Марка по дробимости щебня из гравия и гравия [12]**

| Марка по дробимости | Потеря массы при испытании, % |              |
|---------------------|-------------------------------|--------------|
|                     | Щебня из гравия               | Гравия       |
| 1000                | До 10 вкл.                    | До 8 вкл.    |
| 800                 | Св. 10 до 14                  | Св. 8 до 12  |
| 600                 | Св. 14 до 18                  | Св. 12 до 16 |
| 400                 | Св. 18 до 26                  | Св. 16 до 24 |

Результаты лабораторной работы обобщают в табл. 36 и оформляют итоговый вывод по лабораторной работе.

Таблица 36

**Результаты лабораторной работы**

| Показатель                                                     | Номер звена |   |   |
|----------------------------------------------------------------|-------------|---|---|
|                                                                | 1           | 2 | 3 |
| Вид заполнителя (щебень гранитный, известняковый и т.д.)       |             |   |   |
| Наибольшая крупность $D_{\text{наиб}}$ , мм                    |             |   |   |
| Наименьшая крупность $D_{\text{наим}}$ , мм                    |             |   |   |
| Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ , г/см <sup>3</sup>     |             |   |   |
| Средняя плотность зёрен $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |             |   |   |
| Пустотность $V_{\text{пуст}}$ , %                              |             |   |   |
| Показатель дробимости $D_p$ , %                                |             |   |   |
| Марка по дробимости                                            |             |   |   |

**Вывод**

## Контрольные вопросы

1. Что такое заполнитель?
2. Для каких целей в состав бетона вводят заполнители?
3. По каким признакам классифицируют заполнители?
4. Какими бывают заполнители в зависимости от происхождения?
5. Как заполнители подразделяют по крупности?
6. Как заполнители подразделяют по характеру формы зёрен?
7. Какие свойства определяют для заполнителей?
8. С помощью каких параметров можно охарактеризовать форму зёрен заполнителя?
9. Что такое гранулометрический или зерновой состав заполнителя?
10. С помощью каких приборов/инструментов определяют зерновой состав заполнителя?
11. Как определяется наибольшая и наименьшая крупность крупного заполнителя?
12. В чем различие непрерывного и прерывистого зернового состава?
13. С помощью каких способов оценивают прочность заполнителя?
14. Как определяются полные и частные остатки на сите при зерновом анализе заполнителя?
15. Что такое модуль крупности песка? Для каких целей его определяют?
16. Каким образом определяют среднюю плотность и пустотность крупного заполнителя?
17. С помощью каких приборов/оборудования измеряют дробимость крупного заполнителя?

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Предлагаемые задачи составлены на основе источников [14, 15].

1. Написать размерность величин, выражающих основные физико-механические свойства строительных материалов: а) плотность; б) пористость; в) коэффициент плотности; г) пустотность; д) влажность; е) водопоглощение; ж) морозостойкость; з) коэффициент размягчения; и) предел прочности при сжатии;

2. Определите значение средней плотности керамзитобетона, если известно, что он обладает пористостью 36% и истинной плотностью  $2600 \text{ кг/м}^3$ .

3. Требуется залить пол в производственном помещении размером  $7 \times 8 \text{ м}$  слоем бетона толщиной  $80 \text{ мм}$ . Рассчитайте массу и объем необходимой бетонной смеси, если её плотность  $2400 \text{ кг/м}^3$ ?

4. Из запаса тяжелого бетона массой  $2,5 \text{ тонны}$  (плотностью  $2,27 \text{ т/м}^3$ ) необходимо забетонировать колонну. При заданных размерах сечения  $40 \times 30 \text{ см}$  какой максимальной высоты получится конструкция?

5. Какой объем должна иметь емкость для цемента, чтобы вместить  $4000 \text{ тонн}$  портландцемента при его насыпной плотности  $1,1 \text{ г/см}^3$ ?

6 В ходе испытаний установлено: образец полимерраствора с размерами  $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$  имеет массу  $870 \text{ г}$ . При этом истинная плотность материала равна  $3900 \text{ кг/м}^3$ . Вычислите значение пористости.

7. Рассчитайте степень пористости газобетонной стеновой панели с габаритами  $3,0 \times 1,2 \times 0,3 \text{ м}$  и массой  $1,3 \text{ т}$ , учитывая, что истинная плотность материала составляет  $2610 \text{ кг/м}^3$ .

8. Определите водопоглощение известняка-ракушечника (по массе и объему), если образец объемом  $250 \text{ см}^3$  с начальной массой  $400 \text{ г}$  после водонасыщения стал весить  $500 \text{ г}$ .

9. Определите массу образца известняка после насыщения водой, учитывая следующие характеристики: начальная масса -  $0,7 \text{ кг}$ , водопоглощение по объёму -  $21\%$ , средняя плотность -  $1880 \text{ кг/м}^3$ .

10. Определите показатели водопоглощения по объёму и пористости для ракушечника. Исходные данные: масса сухого образца —

7,1 кг, масса после насыщения водой - 7,75 кг, средняя плотность - 1400 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность - 2580 кг/м<sup>3</sup>.

11. Вычислите расход штукатурного раствора плотностью 1,73 г/см<sup>3</sup> на оштукатуривание кирпичной стены с размерами 9×3 м и толщиной слоя 7 мм.

12. Вычислите среднюю плотность известняка-ракушечника если начальная масса образца - 52 г, масса парафинированного образца на воздухе - 55 г, в воде - 15 г. Плотность парафина принять равной 0,93 г/см<sup>3</sup>.

13. Рассчитайте показатели насыпной плотности и пустотности щебня загруженного в кузов автомобиля. Известны следующие данные: размеры кузова автомобиля - 2,8×1,8×0,6 м, кузов заполнен на 2/3 высоты щебнем; масса автомобиля без груза - 3 т, с грузом - 5,86 т; истинная плотность щебня - 2,7 г/см<sup>3</sup>.

14. Вычислите истираемость бетонного образца, учитывая, что куб размером 0,1х0,1х0,1 м весил 2,2 кг до испытания на круге истирания и 2160 г после испытания.

15. При испытании керамического кирпича на изгиб (250х120х65 мм) зафиксировано, что при расстоянии между опорами 200 мм разрушающая нагрузка составила 380 кгс. Рассчитайте предел прочности материала при изгибе.

16. При испытании на сжатие бетонного куба с ребром 100 мм зафиксировано, что разрушающая нагрузка составила 330 кН. Определите значение предела прочности.

17. При испытании бетона получены следующие результаты: прочность при сжатии сухого образца - 33 МПа, влажного - 270 кгс/см<sup>2</sup>. Рассчитайте коэффициент размягчения и оцените водостойкость материала.

18. Вычислите значение коэффициента размягчения для известнякового камня на основе следующих данных: предел прочности сухого образца - 370 кгс/см<sup>2</sup>, водонасыщенного - 22 МПа. Сделайте вывод о водостойкости материала.

19. Возможно ли использование известнякового бутового камня с прочностью при сжатии 86 МПа в сухом состоянии и 54 МПа в водонасыщенном состоянии для устройства фундаментов в местах с повышенной влажностью грунта?

20. На сколько снизится прочность гипсового блока после насыщения водой, если известно, что его прочность при сжатии в сухом состоянии была 13 МПа, а коэффициент размягчения материала составляет 0,45?

21. Прочность керамического кирпича в сухом состоянии составляет 15,5 МПа, а коэффициент размягчения равен 0,9. Как изменится его прочность при сжатии после насыщения водой.

22. Модуль крупности песка есть частное от деления на 100 суммы его полных остатков (выраженных в %), начиная с сита с размером отверстий 2,5 мм и кончая ситом с размером отверстий 0,14 мм. Выведите формулу для вычисления модуля крупности по частным остаткам.

23. В табл. 37 приведены результаты просеивания песков, дайте характеристику песков по зерновому составу, модулю крупности, постройте график зернового состава и определите группу песка.

*Таблица 37*

**Результаты просеивания песков**

| № образца (песок) | Частные остатки (% от навески) на ситах с размерами отверстий, мм |     |      |      |       |      | Прошло через сито 0,14 мм, % |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|-----|------|------|-------|------|------------------------------|
|                   | 5,0                                                               | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 |                              |
| 1                 | 0                                                                 | 5,4 | 14,6 | 22,0 | 44,0  | 12,6 | 1,4                          |
| 2                 | 0                                                                 | 2,3 | 3,5  | 10,0 | 33,0  | 30,0 | 21,2                         |
| 3                 | 0                                                                 | 5,5 | 24,5 | 42,0 | 15,0  | 8,0  | 5,0                          |

## ОБОЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

| Наименование                    | Обозначение         | Единица измерения                     |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Истинная плотность              | $\rho_{\text{и}}$   | кг/м <sup>3</sup> ; г/см <sup>3</sup> |
| Средняя плотность               | $\rho_{\text{ср}}$  | кг/м <sup>3</sup> ; г/см <sup>3</sup> |
| Насыпная плотность              | $\rho_{\text{нас}}$ | кг/м <sup>3</sup> ; г/см <sup>3</sup> |
| Относительная плотность         | $\rho_{\text{отн}}$ | Безразмерная величина                 |
| Пористость                      | $P$                 | %                                     |
| Открытая пористость             | $P_o$               | %                                     |
| Закрытая пористость             | $P_z$               | %                                     |
| Коэффициент плотности           | $K_{\text{пл}}$     | %                                     |
| Пустотность                     | $V_{\text{пуст}}$   | %                                     |
| Влажность                       | $W_m$               | %                                     |
| Водопоглощение по массе         | $W_m^{\text{п}}$    | %                                     |
| Водопоглощение по объёму        | $W_o^{\text{п}}$    | %                                     |
| Коэффициент насыщения пор водой | $K_{\text{н}}$      | Безразмерная величина                 |
| Морозостойкость                 | $F$                 | циклы                                 |
| Коэффициент фильтрации          | $K_{\text{ф}}$      | см/с                                  |
| Коэффициент размягчения         | $K_{\text{р}}$      | Безразмерная величина                 |
| Коэффициент теплопроводности    | $\lambda$           | Вт/(м·К)                              |
| Удельная теплоемкость           | $c$                 | Дж/(кг·К)                             |
| Предел прочности при сжатии     | $R_{\text{сж}}$     | МПа                                   |
| Предел прочности при изгибе     | $R_{\text{изг}}$    | МПа                                   |

| Наименование             | Обозначение   | Единица измерения     |
|--------------------------|---------------|-----------------------|
| Истираемость             | $I$           | г/см <sup>2</sup>     |
| Абсолютная деформация    | $\Delta l$    | мм                    |
| Относительная деформация | $\varepsilon$ | Безразмерная величина |
| Модуль упругости         | $E$           | МПа                   |
| Удельная поверхность     | $S_{уд}$      | см <sup>2</sup> /г    |
| Дробимость               | $D_p$         | %                     |
| Коэффициент формы        | $k_\phi$      | Безразмерная величина |
| Модуль крупности         | $M_k$         | Безразмерная величина |

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ**

При проведении лабораторных работ необходимо руководствоваться ГОСТ 12.4.113-82 [16], регламентирующим требования безопасности к условиям проведения учебных лабораторных работ в высших учебных заведениях.

В начале занятий преподаватель проводит вводный инструктаж по правилам безопасности при выполнении лабораторных работ. Каждый студент после прохождения инструктажа обязан поставить свою подпись в специальном журнале, что является допуском к практическим занятиям.

Студенты должны следовать установленным требованиям безопасности:

- тщательно изучить задание, оборудование и материалы перед началом работы, при обнаружении неисправностей незамедлительно информировать преподавателя или лаборанта;
- начинать выполнение работы только после получения разрешения преподавателя;
- сообщать о любых нарушениях техники безопасности преподавателю или лаборанту;
- не производить самостоятельно включение или выключение электрических приборов и оборудования без разрешения;
- при работе с инструментом и оборудованием необходимо соблюдать осторожность, особенно при работе с острыми, тяжелыми и движущимися частями;
- при выполнении работ использовать защитную рабочую одежду: халаты, фартуки, при необходимости перчатки, защитные очки;
- соблюдать осторожность и использовать защитную одежду при работе с сыпучими материалами и в особенности вязущими веществами (цемент, гипс и т.д.), которые могут в определённых обстоятельствах действовать как раздражитель кожи;
- выполнять исключительно порученные задания, поддерживать порядок на рабочем месте, оставляя только необходимые материалы и оборудование;

- работать только в присутствии второго человека для обеспечения безопасности и возможности получения помощи при чрезвычайных ситуациях;

- при возникновении несчастного случая незамедлительно информировать преподавателя или лаборанта.

По завершении лабораторной работы необходимо выполнить следующие действия:

- отключить все задействованное оборудование;
- провести очистку используемого инструмента и оборудования;
- разместить испытуемые образцы, материалы, инструменты и оборудование в предназначенном для их хранения месте;
- убрать рабочее место;
- с разрешения руководителя или лаборанта покинуть лабораторию.

В случае несоблюдения правил ТБ, производственной санитарии и внутреннего распорядка в лаборатории строительных материалов студент к дальнейшим занятиям не допускается.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Пособие содержит материалы, указания и расчетные задачи, которые помогут получить студентам начальные навыки оценки, анализа, определения основных свойств строительных материалов и заполнителей для бетонов. Приобретенные навыки и знания студенты смогут применить в дальнейшей учебной и практической деятельности при решении специальных задач.

Планируется создание следующей части пособия с углубленным изучением свойств вяжущих материалов, бетонов, материалов на основе древесины, полимеров, пластиков, металлов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия: Учеб. – М.: Высш. Шк., 2001. – 367 с.: ил.
2. Машкин Н. А. Строительные материалы. Краткий курс: учеб. пособие // Н. А. Машкин, О. А. Игнатова ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – 2-е изд., перераб. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 200 с.
3. 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.
4. Строительные материалы и изделия : учеб. пособие / В.С. Руднов [и др.]; под общ. ред. доц., канд. техн. наук И.К. Доманской.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018.— 203, [1] с.
5. Усачев, А.М. Строительные материалы и изделия. Технология строительных конструкций и изделий: учеб. пособие для студ. спец. 230201 / А.М. Усачев, С.М. Усачев; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2011. – 252 с.
6. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: дата введения 01.01.1996. – Москва: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, 2003. – 7 с.
7. ГОСТ Р 57270-2016. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть: дата введения 01.05.2018. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 46 с.
8. Строительные материалы: практикум / В.К. Ширококордюк [и др.] – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 163с.
9. Ицкович С.М. и др. Технология заполнителей бетона: Учеб. Для строит. вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкций» / С. М. Ицкович, Л. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.: ил.

10. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия.: дата введения 01.04.2015. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 7с.

11. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний: дата введения 01.07.1989. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 25 с.

12. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия: дата введения 01.01.1995. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 11 с.

13. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний: дата введения 01.07.1998. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 50 с.

14. Решение задач по строительному материаловедению: методические указания № 1 для выполнения самостоятельной работы / С.Н. Кислицына; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова.. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 18 с.

15. Примеры и задачи по строительным материалам. Под ред. П.Ф. Шубенкина. Учебное пособие для строительных вузов и факультетов. М., «Высш. школа», 1970.

16. ГОСТ 12.4.113-82. Система стандартов безопасности труда. Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности: дата введения 01.07.1983. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. – 5 с.

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов К. Н., Каддо М. Б. Строительные материалы и изделия : учебник. – М. : Высш. шк., 2001. – 367 с.

2. Ицкович С. М. Технология заполнителей бетона : учеб. для строит. вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкций» / С. М. Ицкович, Л. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов. – М. : Высш. шк., 1991. – 272 с.

3. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение : учеб. пособие для строит. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 2002. – 701 с.

4. Микульский В. Г. Строительные материалы : учебник / В. Г. Микульский [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Микульского. – М. : АСВ, 2000. - 536 с.

5. Комар А. Г. Строительные материалы и изделия : учеб. для инж.-экон. спец. строит. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 527с.

*Учебное электронное издание*

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основные свойства строительных материалов. Заполнители для бетона

Учебно-практическое пособие

**Автор-составитель**

БАРУЗДИН Александр Андреевич

*Издается в авторской редакции*

**Системные требования:** Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10;  
Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

**Тираж 9 экз.**

Издательство Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.