

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

С.В.Черкасов, Л.Н.Адоньева

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Лабораторный практикум

*Рекомендовано научно-методическим советом  
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по специальностям:  
«Промышленное и гражданское строительство»,  
«Водоснабжение и водоотведение»,  
«Экспертиза и управление недвижимостью»*

Воронеж 2010

УДК 691.1:666.972

ББК 38.37+38.33

Ч777

**Рецензенты:**

*кафедра технологии отделочных и изоляционных материалов  
Московского Государственного строительного университета;  
главный инженер ОАО «Воронежский завод ЖБИ-2» П.Ф. Федюшин*

**Черкасов, С.В.**

Ч777 **Материаловедение** : лабораторный практикум / С.В. Черкасов;  
Л.Н. Адоньева; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2010. - 88 с.

Пособие включает цикл лабораторных работ, связанных с изучением сырья и свойств различных материалов. Приведены стандартные методы определения основных физико-механических свойств как для сырьевых компонентов (цемента, битума, песка), так и для природных и искусственных композитных материалов (древесины, раствора, бетона).

Достаточно подробно изложен порядок подбора состава строительного раствора и тяжелого бетона.

Предназначено для студентов ВУЗов специальностей «Промышленное и гражданское строительство», «Водоснабжение и водоотведение», «Экспертиза и управление недвижимостью».

Ил. 31. Табл. 46. Библиогр.: 14 назв.

ISBN 978-5-89040-301-8

© Черкасов С.В., Адоньева Л.Н., 2010  
© Воронежский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие создано для студентов высших и средних учебных заведений строительных специальностей, обучающихся по заочной (в т.ч. и дистанционной) форме обучения, а также может быть полезно студентам-очникам и другим лицам, связанным с работой в строительной индустрии.

Лабораторный практикум «Материаловедение» предназначен для закрепления общетеоретических знаний и получения практических навыков по дисциплине «Материаловедение».

Практикум включает 4 тематические части. Начальные его разделы посвящены методам определения основных физико-механических свойств различных строительных материалов, последующие разделы – природным материалам (каменным и древесным), а также компонентам вяжущей и наполняющей части конгломератов и, наконец, заключительные разделы посвящены самим конгломератам.

Для всех материалов приводятся современные стандартные технические требования и методы испытаний, а для композитных материалов также и этапы подбора состава, методики расчета состава и изготовления образцов для испытаний.

Подготовка к лабораторным работам, кроме использования практикума, предусматривает самостоятельное изучение отдельных теоретических вопросов по литературным источникам, конспекту лекций, справочной и нормативной литературе, библиографический список которой приведен в конце пособия.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 1.1. Общие сведения

Физические свойства определяют способность материалов реагировать на воздействие различных физических факторов: гравитационных, тепловых, водной среды, электрических и т.д. К физическим свойствам относятся: средняя, истинная и насыпная плотности, пористость, влажность, водопоглощение, теплопроводность, теплоемкость, коэффициент размягчения, морозостойкость и др.

Пористость, истинная и средняя плотности являются важнейшими параметрами физического состояния любого строительного материала, которые обуславливают его отношение к действию факторов окружающей среды: воздействию влаги, температуры, газов и др. От параметров состояния функционально зависят такие свойства материалов, как прочность, деформативность, теплопроводность, морозостойкость и др. Они учитываются при определении рациональной области применения материалов, при проектировании строительных конструкций и сооружений, при решении ряда технологических вопросов их производства, хранения, транспортировки и т.д.

### 1.2. Цель работы

Изучение методики и порядка определения показателей основных физических свойств строительных материалов.

### 1.3. Порядок выполнения работы

#### 1.3.1. Определение истинной плотности

**Истинная плотность** – это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот).

Истинную плотность материала определяют делением его массы ( $m$ ) на объем в абсолютно плотном состоянии (объем твердой фазы –  $V_{т.ф.}$ ).

$$\rho = \frac{m}{V_{т.ф.}}, \quad \text{г/см}^3 \text{ или } \text{кг/м}^3 \quad (1)$$

Абсолютный объем материала определяется по методу вытесненной инертной жидкости. Для этого пробу материала предварительно высушивают при температуре 105 °С до постоянной массы и измельчают до полного прохождения через сито № 0,063. Истинную плотность определяют с помощью мерного цилиндра, пикнометра или прибора Ле-Шателье.

### 1.3.1.1. Определения истинной плотности с помощью мерного цилиндра

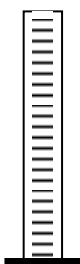


Рис. 1.  
Мерный цилиндр

Цилиндр (рис. 1), примерно, до половины высоты шкалы, заполняют инертной жидкостью и определяют ее объем. Отвешивают 100 г порошка, засыпают его в цилиндр, определяют объем жидкости с порошком. Истинную плотность материала вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}, \text{ г/см}^3 \quad (2)$$

- $m$  □ масса порошка, г;  
 $V_1$  □ объем жидкости, см<sup>3</sup>;  
 $V_2$  □ объем жидкости и порошка, см<sup>3</sup>.

Результаты определения заносят в табл. 1

Таблица 1

Результаты определения истинной плотности

Номер опыта	Масса порошка $m$ , г	Объем жидкости $V_1$ , см <sup>3</sup>	Объем жидкости и порошка $V_2$ , см <sup>3</sup>	Истинная плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
				полученное значение	среднее значение	по справочным данным

### 1.3.1.2. Определения истинной плотности с помощью прибора Ле-Шателье

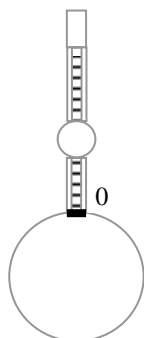


Рис. 2.  
Прибор Ле-Шателье

Прибор (рис. 2) наполняют инертной жидкостью до нулевой отметки по нижнему мениску. Отвешивают 70 г порошка и засыпают его в прибор до тех пор, пока уровень жидкости не поднимется до любого деления в пределах градуированной части прибора выше компенсатора. Остаток порошка взвешивают.

Истинная плотность вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (3)$$

- где  $m$  □ масса первоначальной навески порошка, г;  
 $m_1$  □ масса остатка от первоначальной навески, г;  
 $V$  □ объем порошка, см<sup>3</sup>.

Для определения плотности проводят не менее 2<sup>x</sup> испытаний и вычисляют среднее арифметическое из полученных результатов. Результаты эксперимента заносят в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения истинной плотности

Номер опыта	Масса начальной навески порошка $m$ , г	Масса остатка порошка $m_1$ , г	Объем порошка $V$ , см <sup>3</sup>	Истинная плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
				полученное значение	среднее значение	по справочным данным

### 1.3.1.3. Определения истинной плотности с помощью пикнометра

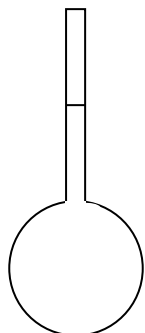


Рис. 3  
Пикнометр

Навеску порошка материала массой 10...15 г высыпают в предварительно взвешенный пикнометр (рис. 3). Пикнометр взвешивают вместе с навеской, заполняют инертной жидкостью до метки и вновь взвешивают. Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, заполняют до метки жидкостью и взвешивают.

Истинную плотность материала вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_{\text{жид}}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}, \text{ г/см}^3, \quad (4)$$

где  $m_1$  □ масса пикнометра, г;

$m_2$  □ масса пикнометра с навеской, г;

$m_3$  □ масса пикнометра с навеской и жидкостью, г;

$m_4$  □ масса пикнометра с жидкостью, г;

$\rho_{\text{жид}}$  □ плотность инертной жидкости, г/см<sup>3</sup>.

Результаты определений заносят в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения истинной плотности.

Номер опыта	Масса пикнометра $m_1$ , Г	Масса пикнометра с навеской $m_2$ , Г	Масса пикнометра с навеской и жидкостью $m_3$ , Г	Масса пикнометра с жидкостью $m_4$ , Г	Истинная плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
					полученное значение	среднее значение	по справочным данным

### 1.3.2. Определение средней плотности

**Средняя плотность** – это масса единицы объема материала в естественном состоянии.

Среднюю плотность материала определяют отношением массы ( $m$ ) материала ко всему занимаемому им объему ( $V_{\text{мат}}$ ), включая имеющиеся в них пустоты и поры ( $V_{\text{пор}}$ ), и рассчитывают по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V_{\text{мат}}} = \frac{m}{V_{\text{тф}} + V_{\text{по}}}, \text{ г/см}^3 \text{ или кг/м}^3. \quad (5)$$

Средняя плотность находится в обратной зависимости от пористости материала. Среднюю плотность материалов определяют на изделиях или образцах правильной и неправильной формы в состоянии естественной влажности, в воздушно-сухом и сухом состоянии. Образцы правильной геометрической формы в виде куба, параллелепипеда или цилиндра должны иметь размер по наименьшему измерению не менее 50 мм. Образцы неправильной геометрической формы должны иметь массу не менее 300 г каждый. Среднюю плотность пустотелых изделий определяют на целых изделиях без вычета пустот.

Среднюю плотность определяют не менее чем на трех образцах.

### 1.3.2.1. Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы

Размеры образцов определяют металлической линейкой или штангенциркулем, вычисляют объем. Затем взвешиванием определяют массу образцов. Среднюю плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V_{mat}}, \text{ г/см}^3, \quad (6)$$

где  $m$  — масса образца, г;

$V_{mat}$  — объем образца в естественном состоянии,  $\text{см}^3$ .

Результаты определения средней плотности заносят в табл. 4.

Таблица 4

Определение средней плотности образцов правильной формы

Номер опыта	Масса образца $m$ , г	Размеры образца, см	Объем образца $V$ , $\text{см}^3$	Средняя плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
				полученное значение	среднее значение	по справочным данным

### 1.3.2.2. Определение средней плотности образцов неправильной формы

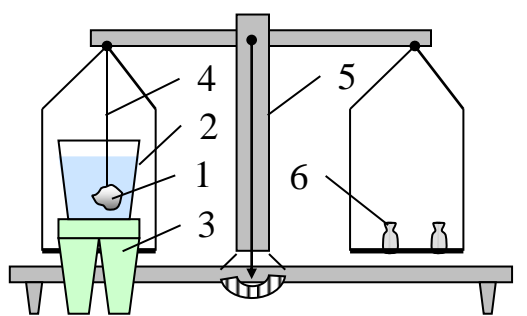


Рис. 4. Гидростатическое взвешивание:

- 1- парафинированный образец;
- 2- стакан с водой;
- 3- полка;
- 4- тонкая проволока;
- 5- весы технические;
- 6- гири

Опыт осуществляется с помощью гидростатического взвешивания (рис. 4).

Предварительно взвешенный образец покрывают пленкой из парафина. Затем образец охлаждают и взвешивают, сначала на воздухе, затем на гидростатических весах в воде (рис. 4).

Среднюю плотность материала вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_{воды} - \rho_{пар}}}, \text{ г/см}^3 \quad (7)$$

где  $\rho_{воды}$  — плотность воды,  $1 \text{ г/см}^3$ ;

$\rho_{пар}$  — плотность парафина,  $0,93 \text{ г/см}^3$ ;

$m$  — масса образца, г;

$m_1$  — масса парафинированного образца на воздухе, г;

$m_2$  — масса парафинированного образца в воде, г;

$m_1 - m_2$  — потеря массы в воде, равная массе вытесненной воды, г

Результаты определения средней плотности материала заносят в табл. 5.

## Определение средней плотности образцов неправильной формы

Номер опыта	Масса образца $m$ , г	Масса парафинированного образца на воздухе $m_1$ , г	Масса парафинированного образца в воде $m_2$ , г	Средняя плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
				полученное значение	среднее значение	по справочным данным

**1.3.3. Определение насыпной плотности**

**Насыпная плотность** – это масса единицы объема материала в рыхло-насыпном состоянии.

Насыпную плотность материала определяют отношением массы ( $m$ ) зернистого материала ко всему занимаемому им объему ( $V_{\text{мат}}$ ), включая имеющиеся в нем поры ( $V_{\text{пор}}$ ) и межзерновые пустоты ( $V_{\text{пуст}}$ ), и рассчитывают по формуле

$$\rho_{\text{н}} = \frac{m}{V_{\text{мат}}} = \frac{m}{V_{\text{мф}} + V_{\text{пор}} + V_{\text{пуст}}}, \text{ г/см}^3 \text{ или кг/м}^3 \quad (8)$$

Сущность испытания заключается в заполнении мерного сосуда рыхло-зернистым материалом.

В зависимости от крупности частиц материала используют сосуды различной вместимости. Если размер частиц материала составляет 0...5 мм, то объем сосуда должен быть 1...2 л, если размер частиц 5...40 мм, то объем сосуда – 10 л, и если размер частиц более 40 мм, то объем сосуда  $\square$  20 л.

Насыпную плотность сыпучих материалов (песок, цемент и др.) определяют с помощью воронки в виде конуса с заслонкой в нижней части (рис. 5).

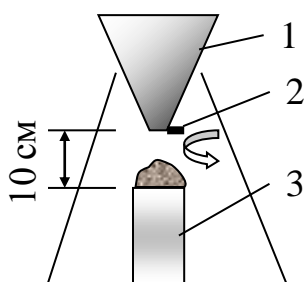


Рис. 5. Определение насыпной плотности:

- 1- воронка-конус;
- 2 - заслонка;
- 3 - мерный сосуд

Под воронку ставят заранее взвешенный мерный сосуд емкостью 1 л. В воронку засыпают сухой материал, открывают заслонку и с высоты 10 см заполняют сосуд с избытком. Металлической линейкой срезают излишек материала вровень с краями сосуда (без уплотнения) и взвешивают.

Насыпную плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{н}} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (9)$$

где  $m_1$   $\square$  масса сосуда, г;

$m_2$   $\square$  масса сосуда с материалом, г;

$V$   $\square$  объем сосуда, см<sup>3</sup>.

Результаты определения насыпной плотности заносят в табл. 6.



## Результаты определения насыпной плотности

Номер опыта	Масса сосуда $m_1$ , г	Масса сосуда с материалом $m_2$ , г	Объем сосуда $V$ , см <sup>3</sup>	Средняя плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
				полученное значение	среднее значение	по справочным данным

**1.3.4. Определение пористости материала**

**Пористость** - это степень заполнения материала порами.

$$P = \frac{V_{пор}}{V_{мат}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Различают полную, открытую и закрытую пористости. Полная пористость ( $P$ ) включает в себя открытую ( $P_o$ ) и закрытую пористости ( $P_z$ ). Открытыми считаются поры, которые при помещении материала в воду заполняются ею, закрытыми – которые не заполняются водой.

Полную пористость рассчитывают по формуле

$$P = \left( 1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $\rho$  – истинная плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_m$  – средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Открытую пористость можно приближенно определить по величине водопоглощения по объему:

$$P_o \approx V_v. \quad (12)$$

Закрытую (замкнутую) пористость в процентах определяют по формуле

$$P_z = P - P_o. \quad (13)$$

Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах: у стекла и металла она составляет 0 %, гранита и мрамора – 0,2...0,8 %, керамического кирпича – 18...35 %, тяжелого бетона – 5...10 %, газобетона – 55...85 %, ячеистых пластмасс – 90...95 %. От величины пористости, размера и формы пор, равномерности распределения их в материале зависят важнейшие его свойства: прочность, плотность, водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость и др.

**1.3.5. Определение межзерновой пустотности**

Межзерновая пустотность ( $V_n$ ) для зернистых и порошкообразных материалов рассчитывается по формуле

$$V_n = \left( 1 - \frac{\rho_n}{\rho_m} \right) \cdot 100\%, \quad (14)$$

где  $\rho_n$  – насыпная плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_m$  – средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

### 1.3.6. Определение водопоглощения материалов

Водопоглощение - это способность материала впитывать и удерживать в порах воду. Водопоглощение характеризует максимальную степень увлажнения материала, т.е. такое состояние, при котором все открытые поры заполнены водой. Различают водопоглощение по массе и объему:

$$\text{водопоглощение по массе} \quad B_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{мат}}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где  $m_{\text{воды}}$  – масса поглощенной материалом воды, г;

$m_{\text{мат.}}$  – масса материала, г;

$$\text{водопоглощение по объему} \quad B_v = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{мат}}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где  $V_{\text{воды}}$  – объем поглощенной материалом воды, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{мат.}}$  – объем материала, см<sup>3</sup>.

Водопоглощение материала по объему и массе связаны между собой следующей зависимостью:

$$B_v = B_m \cdot (\rho_m / \rho_{\text{воды}}). \quad (17)$$

Водопоглощение определяют не менее чем на трех образцах материала. Образцы предварительно высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры, взвешивают, обмеряют и вычисляют объем. Затем укладывают в емкость с водой, имеющей температуру +20 °С. В воде образцы выдерживают 48 ч, затем вынимают, обтирают влажной мягкой тканью и сразу взвешивают.

Водопоглощение образцов по массе и объему вычисляют по формулам:

$$B_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух.}}}{m_{\text{сух.}}} \cdot 100\%; \quad (18) \quad B_v = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух.}}}{V_{\text{мат}} \rho_{\text{воды}}} \cdot 100\%, \quad (19)$$

где  $m_{\text{нас}}$  – масса насыщенного водой материала, г;

$m_{\text{сух.}}$  – масса сухого материала, г;

$V_{\text{мат.}}$  – объем материала, см<sup>3</sup>;

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

Результаты определения водопоглощения заносятся в табл. 7.

Таблица 7

Результаты определения водопоглощения материала

Номер опыта	Масса высушенного образца $m_{\text{сух.}}$ , Г	Масса насыщенного водой образца $m_{\text{нас}}$ , Г	Объем образца $V_{\text{мат.}}$ , см <sup>3</sup>	Водопоглощение отдельного образца, %		Среднее арифметическое значение водопоглощения, %	
				$B_m$	$B_v$	$B_m$	$B_v$

### 1.3.7. Определение влажности материалов

Влажность – это степень увлажнения материала.

Влажность материала оказывает значительное влияние на долговечность, теплоизоляционные, электрические и др. свойства материалов.

Влажность определяют не менее чем на 3-х образцах материала. Образцы взвешивают, затем высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. После охлаждения взвешивают.

Абсолютную влажность вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (20)$$

где  $m_{\text{вл}}$  – масса материала, в естественном состоянии г;

$m_{\text{сух}}$  – масса сухого материала, г

Результаты определения водопоглощения заносятся в табл. 8.

Таблица 8

Результаты определения абсолютной влажности материала

Номер опыта	Масса высушенного образца, г	Масса образца в естественном состоянии, г	Влажность отдельного образца, %	Среднее арифметическое значение влажности, %
-------------	------------------------------	---	---------------------------------	--

Абсолютная влажность, в зависимости от окружающих условий, может меняться в пределах от 0 до полного насыщения водой ( $B_m$ ).

**Приборы, инструменты, материалы:** весы технические по ГОСТ 16474, сушильный шкаф по ГОСТ 13474, электроплитка с закрытым нагревательным элементом по ГОСТ 13474, весы торговые по ГОСТ 16474, мерный цилиндр вместимостью 100 или 250 мл, объемомер Ле-Шателье-Кандло, пикнометр вместимостью 50 или 100 мл по ГОСТ 6427, стандартная воронка для определения насыпной плотности материалов, мерный сосуд вместимостью 1 л, металлическая линейка по ГОСТ 421, штангенциркуль по ГОСТ 166, образцы строительных материалов.

#### Аттестационные вопросы

1. Что называется истинной, средней и насыпной плотностью материала?
2. Как определяется истинная плотность материала?
3. Как определяется средняя плотность материала?
4. Опишите методику определения насыпной плотности материала.
5. Как рассчитывается пористость материала?
6. Какие свойства материала зависят от пористости?
7. Как рассчитывается межзерновая пустотность материала?
8. Опишите методику определения водопоглощения?
9. Как определяется влажность материала?
10. Какие свойства строительного материала зависят от его влажности?

**Литература:** [ 1, 2, 6, 8, 12 ].

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### *2.1. Общие сведения*

Механические свойства характеризуют способность материалов противостоять силовым, тепловым и другим напряжениям, возникающим в них без нарушения структуры. Механические свойства подразделяются на прочностные и деформативные. Деформативность характеризует способность материала изменять свою форму и размеры без изменения массы.

**Прочностью** называется способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних нагрузок (сил).

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

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

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

### *2.2. Цель работы*

Изучение методики и порядка определения показателей механических свойств строительных материалов.

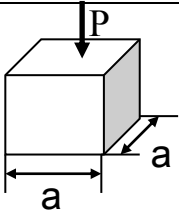
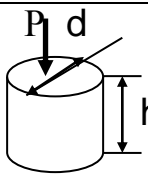
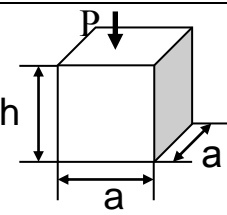
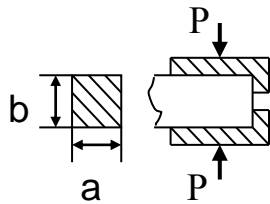
### *2.3. Порядок выполнения работы*

#### *2.3.1. Определение предела прочности при сжатии*

*Сущность испытания заключается в разрушении образца материала сжимающей нагрузкой ( $P$ ), действующей на единицу площади ( $F$ ).*

*Предел прочности при сжатии определяют путем испытания серии образцов (не менее 3-х) на гидравлических и механических прессах. Форма и размеры образцов представлены в табл. 9.*

Схемы испытания и исходные данные для определения предела прочности при сжатии

№	Показатели	Основные характеристики образцов			
		Куб	Цилиндр	Призма квадратного сечения	Балочка (половинка)
1	Форма образцов				
2	Схема испытания				
3	Геометрические размеры образцов, см	a = 7, 10, 15, 20, 30	a = 7, 10, 15, 20, 30 h=d или 2d	a = 10, 15, 20 h = 4a	a = 4, b = 6,25 F= a×b=25 см <sup>2</sup>

Перед испытанием образцы осматривают, выбирают опорные грани. Они должны быть ровными, гладкими, параллельными. Определяют их линейные размеры штангенциркулем или металлической линейкой. По результатам измерений рассчитывают рабочую площадь опорных граней в см<sup>2</sup>. Затем поочередно каждый образец устанавливают в центр нижней плиты пресса, опускают верхнюю плиту, после чего включают пресс и материал подвергается действию сжимающих сил, приводящих к его разрушению. С силоизмерителя пресса снимают значение разрушающей нагрузки в кгс.

Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \text{ МПа или кгс/см}^2, \quad (21)$$

где  $P$  – разрушающая сила, Н (кгс);

$F$  – площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>.

$$1 \text{ МПа} = 9,81 \text{ кгс/см}^2.$$

Результаты определения предела прочности при сжатии заносят в табл. 10.

Таблица 10

Результаты определения предела прочности при сжатии

Наименование материала	Номер образца	Опорная площадь, м <sup>2</sup> , см <sup>2</sup>	Разрушающая сила, Н (кгс)	Предел прочности при сжатии, МПа, (кгс/см <sup>2</sup> )		
				полученное значение	среднее значение	по справочным данным

*Предел прочности при сжатии материала является определяющим показателем для колонн, опор, фундаментов, стен и др.*

### 2.3.2. Определение предела прочности при изгибе

Испытание заключается в разрушении образца сосредоточенной нагрузкой ( $P$ ), прикладываемой в середине пролета ( $\ell$ ).

Определение предела прочности при изгибе осуществляется на гидравлических прессах или на установке МИИ-100. Опытные образцы-балочки изготавливают путем выпиливания или формования из растворной или бетонной смеси. Испытательные схемы, форма и размеры образцов представлены в табл. 11. Размеры образцов и расстояние между опорами, при испытании устанавливаются ГОСТом на данный строительный материал.

Предел прочности при изгибе материала является определяющим показателем для балок ферм, покрытий, перекрытий и др.

Основные схемы испытания, типоразмеры образцов представлены в табл. 11

Таблица 11

Схемы испытания и исходные данные для определения предела прочности при изгибе

№	Наименование показателей	Характеристики показателей	
1	Форма образцов	Прямоугольная призма квадратного сечения	
2	Размеры образцов	$a (b, h) = 4, 5, 7, 10, 15, 20$ см; $\ell = 4a$	
3	Вид нагрузки	Одноточечная	Двухточечная
4	Схема испытания		
5	Расчетная формула	$R_{изг} = \frac{3 \cdot P \ell}{2 \cdot b h^2}$ (22)	$R_{изг} = \frac{P(\ell - m)}{b h^2}$ (23)
6	Составляющие формул (22) и (23)	$P$ – разрушающая сила, Н (кгс); $\ell$ – расстояние между опорами, м (см); $b$ – ширина образца, м (см); $h$ – высота образца, м (см); $m$ – расстояние между грузами м (см)	

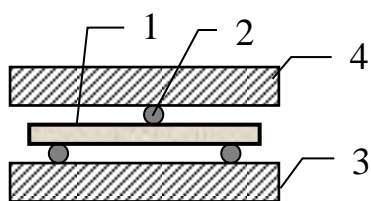


Рис. 6. Схема испытания при изгибе

Образцы 1 осматривают, обмеряют. С помощью стальных стержней 2 диаметром 10 мм на нижней плите 3 пресса составляют испытательную схему (рис. 6), опускают верхнюю плиту 4 и нагружают образец до разрушения.

Предел прочности при изгибе ( $R_{изг}$ ) вычисляют по формулам (22) и (23) с погрешностью 0,1 МПа как среднее арифметическое результатов испытаний установленного числа образцов.

При испытании образцов-балочек размером 4×4×16 см используют испытательную машину МИИ-100, позволяющую снимать показатель предела прочности при изгибе по счетчику машины.

Результаты определения прочности при изгибе заносят в табл. 12.

Таблица 12

Результаты определения предела прочности при изгибе

Наименование материала	Тип установа	Номер образца	Расстояние между опорами, м(см)	Ширина образца, м(см)	Высота образца, м(см)	Разрушающая сила, Н(кгс)	Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
							полученное значение	среднее значение

### 2.3.2. Определение твердости материалов

**Твердостью** называют способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого материала.

#### 2.3.2.1. Определение твердости материалов по шкале Мооса

При определении твердости хрупких природных и искусственных каменных строительных материалов пользуются шкалой твердости Мооса, состоящей из 10 эталонных минералов. Минералы в шкале подобраны таким образом, что каждый последующий оставляет черту (царапину) на предыдущем (с меньшим номером), и в то же время сам не прочерчивается им. Показатели твердости минералов по шкале Мооса приведены в табл. 13.

Таблица 13

Твердость минералов по шкале Мооса

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

Для установления твердости испытываемого материала на гладкой его поверхности пробуют нанести черту каждым из минералов, входящих в шкалу, начиная с самого мягкого из них. За твердость принимают величину между условной твердостью того минерала, который оставляет черту на испытываемом образце, и предыдущим, более мягким минералом, не оставляющим черты на образце.

*Твердость материала влияет на легкость его обработки, назначение, долговечность и др.*

### 2.3.2.2. Определение твердости для пластичных материалов

Для пластичных материалов (древесины, пластмасс, некоторых металлов и бетонов) твердость определяется вдавливанием в материал стандартного стального шарика.

Число твердости вычисляют по формуле

$$HB = \frac{P}{F}, \text{ МПа или кгс/см}^2, \quad (24)$$

где  $P$  – приложенная не до разрушения нагрузка, Н (кгс);

$F$  – площадь поверхности отпечатка,  $\text{м}^2$ ,  $\text{см}^2$ .

### 2.3.3. Определение сопротивления удару

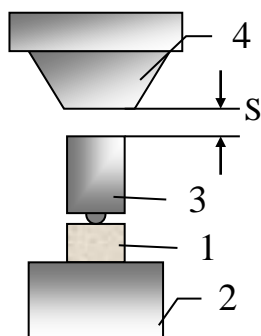


Рис. 7. Схема испытания при ударе

Сущность испытания заключается в разрушении образца ударной нагрузкой. Испытания на удар производят на копрах. Образцы (3 шт.) должны иметь форму цилиндра диаметром и высотой 25 мм.

Образец 1 обмеряют, вычисляют его объем. Затем устанавливают на наковальню 2 копра (рис. 7) и сверху опускают подбабок 3, упирающийся в центр образца. После этого начинают сбрасывать стальную бабу 4, масса которой в зависимости от прочности образца может составлять 0,5; 1; 2 или 5 кг. Удары по образцу приходятся через подбабок. Высота первого сброса составляет 1 см, второго – 2 см, третьего – 3 см, и т.д. до момента разрушения образца (до появления первой трещины).

Сопротивление удару рассчитывается по формуле

$$R_{y\partial} = \frac{P \cdot \sum S}{V}, \text{ кгс} \cdot \text{см/см}^3, \quad (24)$$

где  $P$  – сила удара, кгс;  $P = mg$ , где  $m$  – масса бабы;

$\sum S$  – сумма высот сброса бабы, см;  $\sum S = (1+2+3+\dots+n)$ ,

где  $n$  – высота разрушения образца (появления первой трещины), см;

$V$  – объем образца,  $\text{см}^3$ .



За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех определений. Результаты испытаний по определению сопротивления удару записывают в табл. 14.

Таблица 14

Результаты определения сопротивления удару

Наименование материала	Размер образца, см		Объем образца, см <sup>3</sup>	Сумма высот сброса бабы, см	Ударная вязкость, (кгс•см/см <sup>3</sup> )	
	диаметр	высота			отдельного образца	среднее арифметическое значение

*На сопротивление удару (ударную вязкость) испытывают материалы, подверженные динамическим воздействиям (дорожно-строительные материалы, плитки для полов, сваи).*

### 2.3.4. Определение истираемости

*Истираемостью называется способность материала изменяться в объеме и массе под действием истирающих усилий.*

*Испытанию на истираемость подвергают материалы, применяемые для устройства полов, лестничных ступеней, каменных тротуаров и т.п.*

*Истираемость (И, кг/м<sup>2</sup>) обычно определяют по потере массы образца после его испытания на круге истирания.*

*Образцы для определения истираемости (3 шт.) должны быть в воздушно-сухом состоянии и иметь форму куба с ребром 70 мм или цилиндра диаметром и высотой 70 мм. Определение истираемости производят на круге истирания, который имеет вращающийся истирающий диск, приспособление для установки образцов и их нагружения вертикальной нагрузкой, счетчик оборотов. В качестве абразивного материала используют шлифзерно 16 или нормальный вольский кварцевый песок.*

Образцы взвешивают, обмеряют и устанавливают в гнезда круга истирания. Прикладывают к каждому по центру сосредоточенную вертикальную нагрузку величиной  $300 \pm 5$  Н, что соответствует давлению  $60 \pm 1$  кПа. На истирающий диск равномерным слоем насыпают абразив ( $20 \pm 1$  г), затем включают привод круга и начинают истирание. Через каждые 30 м пути истирания (28 оборотов круга) круг останавливается, с него удаляют остатки абразивного материала и насыпают новую порцию абразива. Эту операцию повторяют 5 раз, что составляет один цикл испытания (150 м). После каждого цикла испытания образцы вынимают из гнезд, поворачивают на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости и продолжают опыт. Всего проводят 4 цикла испытаний (общий путь истирания равен 600 м). Затем образцы вынимают из гнезд, и взвешивают. Величину истираемости определяют по формуле

$$I = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad (25)$$

где  $m_1$  – масса образцов до истирания, г;  
 $m_2$  – масса образца после 4-х циклов испытания, г;  
 $F$  – площадь истираемой грани образца, см<sup>2</sup>.

Результаты испытаний заносят в табл. 15.

Таблица 15

Результаты определения истираемости

Наименование материала	Номер образца	Масса образца до испытания $m_1$ , г	Масса образца после испытания $m_2$ , г	Площадь истирания $F$ , см <sup>2</sup>	Истираемость, г/см <sup>2</sup>		
					полученное значение	среднее значение	по справочным данным

### 2.3.5. Определение износа в полочном барабане

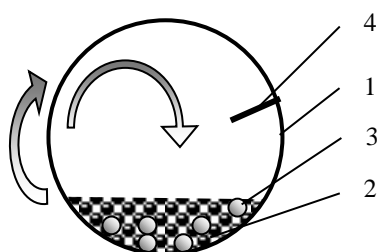


Рис. 8. Схема определения износа:

- 1 – барабан;
- 2 – проба материала;
- 3 – шары.
- 4 – полка

Износ крупнозернистого материала (щебня, гравия) определяют по потере его массы при испытании пробы материала в полочном барабане (рис. 8). Барабан с внутренним диаметром 700 мм и длиной 500 мм снабжен полкой шириной 100 мм для подъема щебня (гравия) вместе с загруженными в барабан чугунными или стальными шарами диаметром 48 мм и массой 405 г каждый. Частота вращения барабана составляет 30...33 об/мин.

Для испытания щебень (гравий) фракции 5...10; 10...20; 20...40 мм просеивают через два сита с размером отверстий, соответствующих наибольшему и наименьшему размеру зерен данной фракции. Из остатка на нижнем сите отбирают по две навески массой  $5000 \pm 100$  г каждая для щебня с предельной крупностью зерен до 20 мм и две пробы по  $10000 \pm 100$  г щебня фракции 20...40 мм. Затем пробу загружают в барабан вместе с шарами (8...12 шт.), и включают его. По окончании испытаний (500...1000 оборотов барабана) пробу просеивают через сито с размерами отверстий 5 мм и контрольное сито с сеткой № 1,25. Остатки на ситах соединяют вместе и взвешивают.

Износ щебня (гравия) определяют в процентах по формуле

$$I = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\% \quad (26)$$

где  $m$  – масса пробы материала, г;  
 $m_1$  – суммарная масса остатков на предохранительном и контрольном ситах, г.

В качестве результата испытания принимается среднее арифметическое 2-х параллельных испытаний. Результаты испытаний записываются в табл. 16.

## Результаты определения износа щебня (гравия)

Наименование материала	Масса пробы $m$ , г	Масса остатка на сите с отверстиями 5 мм, г	Масса остатка на сите с отверстиями № 1,25, г	Суммарная масса остатков $m_1$ , г	Износ, г/см <sup>2</sup>		
					полученное значение	среднее значение	по справочным данным

**Приборы, инструменты, материалы:** образцы строительных материалов; гидравлический пресс по ГОСТ 8905-82; штангенциркуль по ГОСТ 166-80; металлическая линейка по ГОСТ 427-75; приспособления для испытания образцов-балочек на изгиб; измерительная машина МИИ-100; копер типа Педжа с массой падающего груза 2 кг; шкала твердости Мооса; круг истираемости типа ЛКИ-3; полочный барабан со стальными шарами (12 шт.); торговые весы с комплектом гирь до 10 кг; сушильный шкаф; комплект стандартных сит для определения зернового состава щебня (гравия); сито с сеткой № 1,25; шлифзерно 16 или нормальный вольский кварцевый песок.

*Аттестационные вопросы*

1. Что характеризуют механические свойства материалов?
2. Что такое прочность материала?
3. Чем характеризуется прочность материала?
4. Описать методику определения предела прочности при сжатии строительных материалов.
5. В чем заключается методика определения прочности при изгибе?
6. Что такое твердость материала и как она определяется?
7. Как производится определение сопротивления удару?
8. Описать методику определения истираемости строительных материалов.
9. Как определяется истираемость (износ) щебня (гравия)?
10. От чего зависит показатель предела прочности материала?

*Литература:* [ 1, 2, 3, 7, 8, 12 ].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

#### **3.1. Общие сведения**

*Качество применяемой в строительстве древесины определяется породой дерева, его физическим состоянием, свойствами, наличием пороков.*

*Положительные свойства древесины: сравнительно высокая прочность, небольшая плотность, низкая теплопроводность, высокая морозостойкость, легкость механической обработки.*

*К отрицательным свойствам древесины следует относить: неоднородность строения и обусловленная этим разница физико-механических показателей вдоль и поперек волокон; гигроскопичность и связанные с ней деформации и коробления, горючесть и способность загнивать в неблагоприятных условиях.*

*Все древесные породы классифицируются на хвойные и лиственные. Наибольшее распространение в строительстве имеют хвойные породы. К ним относят сосну, ель, пихту, лиственницу и кедр. В последние десятилетия большее применение находят и лиственные породы, такие как дуб, бук, береза, осина, липа, граб, ольха, вяз и др.*

*Древесину применяют для изготовления несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, столярных изделий, опалубки, шпал, фанеры, древесноволокнистых и древесностружечных плит, устройства подмоостей, и др.*

#### **3.2. Цель работы**

*Изучение методов испытания древесины и оценка ее качественных показателей.*

#### **3.3. Порядок выполнения работы**

##### **3.3.1. Определение средней плотности древесины**

*Среднюю плотность древесины в состоянии естественной влажности определяют как в лаборатории, так и за ее пределами (в полевых условиях).*

### 3.3.1.1. Определение средней плотности древесины

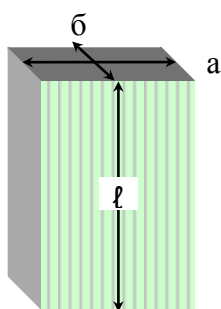


Рис.9. Определение средней плотности древесины

Изготавливают образец (3 шт.) в форме прямоугольной призмы (рис. 9) сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Обмеряют его по осям симметрии и вычисляют объем. Затем образец взвешивают.

Среднюю плотность древесины при влажности ( $W$ , %) рассчитывают по формуле

$$\rho_m^w = \frac{m_w}{V_w}, \text{ г/см}^3, \quad (27)$$

где  $V_w$  – объем образца, см<sup>3</sup> при влажности  $W$ ,  
 $m_w$  – масса образца, г при влажности  $W$ .

Средняя плотность древесины при любой влажности обязательно пересчитывается на стандартную влажность (12 %) по формуле

$$\rho_{m12\%} = \rho_m^w \left[ 1 + 0,01(1 - K_o)(1 - 2W) \right], \text{ г/см}^3, \quad (28)$$

где  $K_o$  – коэффициент объемной усушки (см. п. 3.3.3). Также может быть принят для березы, бука, лиственницы – 0,6, а для прочих пород – 0,5;

$W$  – влажность древесины, %.

Результаты определения оформляют в табл. 17.

Таблица 17

Результаты определения средней плотности древесины

Порода	Номер образца	Размеры образца			Масса образца $m_w$ , г при влажности $W$	Плотность древесины, г/см <sup>3</sup>	
		толщина $a$ , см	ширина $b$ , см	длина $l$ , см		$\rho_m^w$	$\rho_{m12\%}$

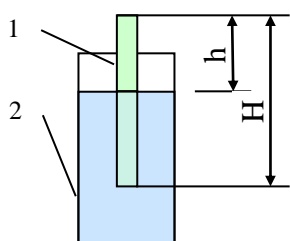


Рис.10. Определение средней плотности древесины в полевых условиях

### 3.3.1.2. Определение средней плотности древесины в полевых условиях

Изготавливают образец квадратного или круглого поперечного сечения и длиной 30...40 см. Измеряют длину образца. Затем образец 1 погружают вертикально в цилиндр 2 с водой (рис. 10) и измеряют выступающую над водой часть образца.

Среднюю плотность древесины при влажности ( $W$ , %) рассчитывают по формуле

$$\rho_m^w = \frac{(H-h) \cdot \rho_{\text{воды}}}{H}, \text{ г/см}^3, \quad (29)$$

где  $H$  – длина образца, см;

$h$  – длина надводной части образца, см;

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

### 3.3.2. Определение влажности древесины

#### 3.3.2.1. Определение абсолютной влажности древесины

Изготавливают образец (3 шт) в форме прямоугольной призмы сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Затем его помещают в предварительно взвешенную ( $m_1$ ) вместе с крышкой металлическую бюксу, взвешивают ( $m_2$ ) и помещают в сушильный шкаф, где при температуре  $103 \pm 2$  °С высушивают до постоянной массы. После охлаждения взвешивают бюксу с образцом ( $m_3$ ) и вычисляют влажность древесины по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100\% \quad (30)$$

Результаты испытаний оформляются в виде табл. 18.

Таблица 18

Результаты определения влажности древесины

Порода древесины	Номер бюксы	Масса, г.			Влажность древесины W, %
		$m_1$	$m_2$	$m_3$	

#### 3.3.2.2. Определение равновесной влажности древесины

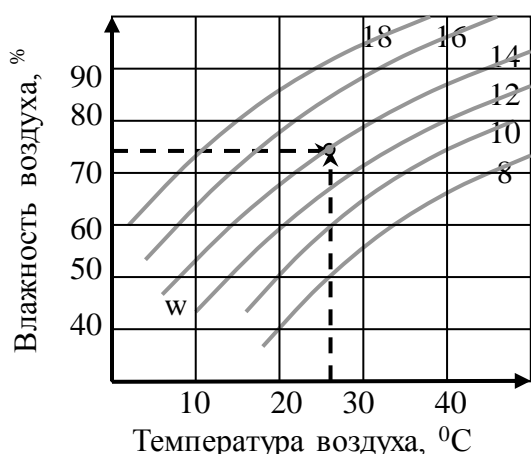


Рис. 11. Диаграмма Чулицкого

При длительном хранении древесины в условиях неизменной температуры и относительной влажности воздуха она приобретает равновесную влажность.

При настиле полов, оформлении стен из древесины с целью исключения ее дальнейшего коробления и усушки необходимо предварительное доведение древесины до равновесной влажности. Равновесную влажность можно определить по диаграмме Н.Н. Чулицкого (рис. 11) с помощью психрометра (рис. 12).

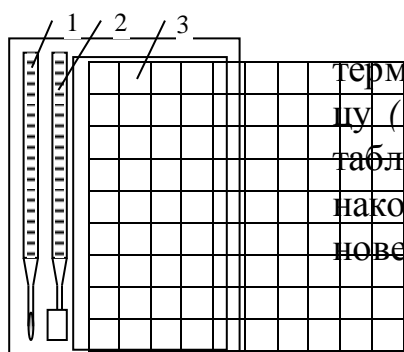


Рис. 12. Психрометр

Сначала по психрометру определяют температуру сухого термометра 1 ( $t_{\text{сух}}$ ), влажного термометра 2 ( $t_{\text{вл}}$ ) и рассчитывают психрометрическую разницу ( $\Delta t = t_{\text{сух}} - t_{\text{вл}}$ ). Затем по  $\Delta t$  и  $t_{\text{сух}}$  по психрометрической табл. 3 находят относительную влажность воздуха ( $\varphi$ , %). И наконец, по  $\varphi$  и  $t_{\text{сух}}$  по диаграмме Н.Н. Чулицкого находят равновесную влажность древесины  $W$ , %.

Например, если с помощью психрометра удалось установить, что равновесная влажность воздуха составила 75 %, а его температура – 26 °С, то по диаграмме Чулицкого (рис. 11) влажность древесины оказалась равной 14 %.

### 3.3.3. Определение усушки древесины

**Усушка** - это изменение линейных размеров и объема древесины при высушивании. Усушка древесины в радиальном, тангенциальном направлениях и вдоль волокон различна. Усушка древесины вызывает ее коробление.

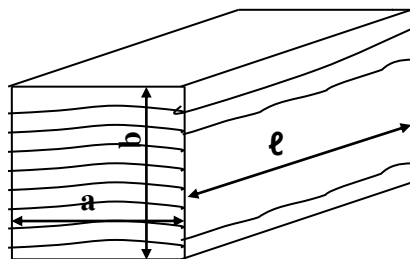


Рис.13. Определение усушки древесины

Изготавливают образец (3 шт.) в форме прямоугольной призмы сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм, таким образом, чтобы одна из сторон сечения была в радиальном направлении, а другая – в тангенциальном. На сторонах образца наносятся отрезки: размером "а" в тангенциальном направлении, размером "b" – в радиальном и размером и "l" – в продольном (рис. 13). Эти отрезки измеряются штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Затем образец кладут в бюксу, которую помещают в

сушильный шкаф, где при температуре  $103 \pm 2$  °С высушивают до постоянной массы. После охлаждения производят замеры тех же отрезков ("a<sub>1</sub>", "b<sub>1</sub>", "l<sub>1</sub>").

Линейные и объемную усушки вычисляют по формулам:

а) в тангенциальном направлении 
$$Y_t = \frac{a - a_1}{a_1} \cdot 100\% \quad (31)$$

б) в радиальном направлении 
$$Y_r = \frac{b - b_1}{b_1} \cdot 100\% \quad (32)$$

в) вдоль волокон 
$$Y_l = \frac{l - l_1}{l_1} \cdot 100\% \quad (33)$$

г) объемную усушку 
$$Y_o = \frac{a_1 b_1 l_1 - a b l}{a_1 b_1 l_1} \cdot 100\% \quad (34)$$

Вследствие неоднородности строения древесина усыхает вдоль оси ствола (вдоль волокон) на 0,1...0,3 % (1...3 мм на 1 м), в радиальном направлении на 3...6 % (3 - 6 см на 1 м), в тангенциальном направлении на 6...12 % (6...12 см на 1 м). Объемная усушка составляет примерно 12...15 %.

Степень усушки древесины характеризуется коэффициентом объемной усушки ( $K_o$ ), который определяется по формуле:

$$K_o = \frac{Y_o}{W} \quad (35)$$

Результаты определения усушки заносят в табл. 19

Таблица 19

Результаты определения усушки древесины

Порода древесины	W, %	Размеры образца, мм						Усушка, %				K <sub>v</sub>
		a	b	l	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	Y <sub>t</sub>	Y <sub>r</sub>	Y <sub>l</sub>	Y <sub>o</sub>	

По величине объемной усушки древесные породы подразделяют на три группы: малоусыхающие, среднеусыхающие и сильноусыхающие. На практике показатели усушки древесины учитываются при распиловке сырых бревен с тем, чтобы после высыхания пиломатериалы и заготовки имели заданные размеры.

### 3.3.4. Определение содержания поздней древесины в годичном слое

Поздняя древесина более плотная, темная и прочная часть годового слоя. Чем сильнее развита в годовых слоях поздняя древесина, тем лучше материал.

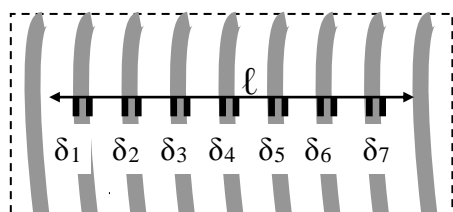


Рис.14. Определение содержания поздней древесины

На торцевом срезе древесины (рис. 14) в радиальном направлении (перпендикулярно годовым слоям) наносят отрезок  $l$  длиной 10-20 мм. С помощью измерительной лупы ЛИ-3 определяют толщину ( $\delta_i$ ) поздней части древесины каждого годового слоя на участке  $l$  с точностью до 0,1 мм. Содержание поздней древесины ( $m$ ) вычисляют по формуле

$$m = \frac{\sum \delta_i}{l} \cdot 100\%, \quad (36)$$

где  $\sum \delta_i$  – сумма толщин поздней древесины, мм, на базовом отрезке;  
 $l$  – длина базового отрезка, мм.

Испытание проводят на трех образцах. Результаты определений заносят в табл. 20.

Таблица 20

Результаты определения поздней древесины

Номер образца	Порода древесины	Общая ширина древесины $\sum \delta_i$ , мм	База измерения $l$ , мм	Содержание поздней древесины, $m$ , %	Расчетные показатели при влажности 12%		
					прочность при сжатии $R_{сж}$ , МПа	прочность при изгибе $R_{изг}$ , МПа	средняя плотность $\rho_m$ , г/см <sup>3</sup>

По величине поздней древесины можно с достаточной точностью вычислить ее основные физико-механические свойства в зависимости от породы древесины, например:



*Средняя плотность древесины:*

$$\rho_{m 12\%} = 0,012 t + 0,276, \text{ г/см}^3 - \text{ для сосны}; \quad (37)$$

$$\rho_{m 12\%} = 0,007 t + 0,335, \text{ г/см}^3 - \text{ для дуба}. \quad (38)$$

*Предел прочности при сжатии вдоль волокон:*

$$R_{сжс 12\%} = 1,39 t + 20,7, \text{ МПа} - \text{ для сосны}; \quad (39)$$

$$R_{сжс 12\%} = 1,01 t + 6,37, \text{ МПа} - \text{ для дуба}. \quad (40)$$

**Приборы, инструменты, материалы:** измерительная лупа типа ЛИ-3; измерительная линейка с ценой деления 0,5 мм; образцы древесины 30×30×10 мм; 20×20×30 мм; таблица с показателями физико-механических свойств древесины различных пород; весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г, технические; сушильный шкаф, обеспечивающий высушивание древесины при температуре  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ; бюксы с притертыми крышками; номограмма Н.Н. Чулицкого; психрометр; штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм; влагомер ЭВ-2К.

### ***Аттестационные вопросы***

1. Назовите положительные и отрицательные свойства древесины.
2. В каком виде древесина используется в строительстве?
3. Как определить абсолютную влажность древесины?
4. Как определяется содержание поздней древесины в годичном слое древесины?
5. Что такое равновесная влажность и как можно ее определить?
6. Как определить среднюю плотность древесины?
7. Как пересчитывается плотность древесины при любой влажности на стандартную влажность?
8. Что такое усушка древесины и как она определяется?

***Литература:*** [ 1, 2, 3, 6, 12 ].

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

### 4.1. Общие сведения

Механические свойства характеризуют способность древесины сопротивляться воздействию внешних сил (нагрузок).

К механическим свойствам древесины относятся: прочность, твердость, жесткость, ударная вязкость. На механические свойства древесины оказывают влияние влажность, продолжительность действия нагрузок, направление волокон, форма образца. Прочность древесины не одинакова в различных направлениях вследствие особенностей строения древесины, это необходимо учитывать при расчете строительных конструкций из древесины.

### 4.2. Цель работы

Изучение методов определения механических свойств древесины.

### 4.3. Порядок выполнения работы

#### 4.3.1. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон

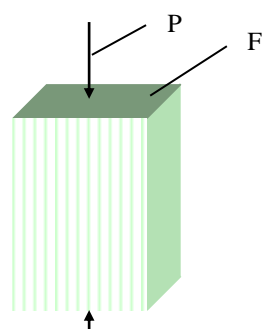


Рис.15. Определение прочности при сжатии

Изготавливают образцы (3 шт.) в форме прямоугольной призмы сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Обмеряют по осям симметрии размеры их сечений и вычисляют площадь. Затем поочередно образцы ставят на опорную плиту пресса и испытывают до разрушения (рис. 15).

Предел прочности при сжатии вдоль волокон при влажности  $w$  вычисляют по формуле

$$R_{сж(w)}^1 = \frac{P_{max}}{F}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)}, \quad (41)$$

где  $P_{max}$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);  
 $F$  – площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).

Пересчет на стандартную влажность (12 %) осуществляют по формуле

$$R_{сж(12\%)}^1 = R_{сж(w)}^1 \left[ 1 + \alpha(W - 12) \right] \quad (42)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент, равный 0,04 на 1 % влажности;  
 $W$  – влажность образца в момент испытания, %.

Результаты испытания оформляются в виде табл. 21.

Таблица 21

Определения прочности древесины при сжатии вдоль волокон

Порода древесины	Номер образца	Размеры поперечного сечения образца, см		$P_{max}$ , Н (кгс)	$W$ , %	$R_{сж(w)}^1$ , МПа	$R_{сж(12\%)}^1$ , МПа
		толщина, $a$	ширина, $b$				

Полученные средние результаты сравниваются со справочными данными. В среднем предел прочности при сжатии вдоль волокон для всех пород составляет около 50 МПа.

#### 4.3.2. Определение предела прочности при статическом изгибе

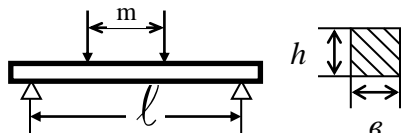


Рис.16. Определение предела прочности при изгибе

Изготавливают образцы (3 шт.) в форме прямоугольной призмы сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Поперечное сечение измеряют по середине длины образца с точностью до 0,1 мм и определяют ширину "b" в радиальном направлении, а высоту "h" - в тангенциальном.

Для испытания (рис. 16) образец укладывают на две опоры, расстояние между центрами которых 240 мм. Расстояние между центрами верхних опор - 80 мм. Нагрузку образца осуществляют со скоростью  $70 \pm 15$  Н/мин.

Предел прочности при статическом изгибе при влажности (W) вычисляют по формуле

$$R_{из(w)} = \frac{P_{max} \cdot l}{bh^2}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (43)$$

где  $P_{max}$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);  
 $l$  – расстояние между опорами, м (см);  
 $b, h$  – ширина и высота сечения образца, м (см).

Полученные значения приводят к стандартной влажности 12 % по формуле

$$R_{из(12\%)} = R_{из(w)} [1 + a(W - 12)] \quad (44)$$

где  $a$  – поправочный коэффициент, равный 0,04 для всех пород;  
 $W$  – влажность образца в момент испытания, %.

Результаты испытаний заносят в табл. 22.

Таблица 22

Определения прочности древесины при статическом изгибе.

Порода древесины	Номер образца	Размеры поперечного сечения образца, м (см)		Максимальная нагрузка $P_{max}$ , Н (кгс)	Влажность $W$ , %	Предел прочности при статическом изгибе, МПа	
		высота $h$	ширина $b$			$R_{из(w)}$	$R_{из(12\%)}$

Полученные средние результаты сравниваются со справочными данными (табл. 24).

В среднем для всех пород прочность при изгибе составляет 100 МПа, т.е. в два раза больше предела прочности при сжатии.

### 4.3.3. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон

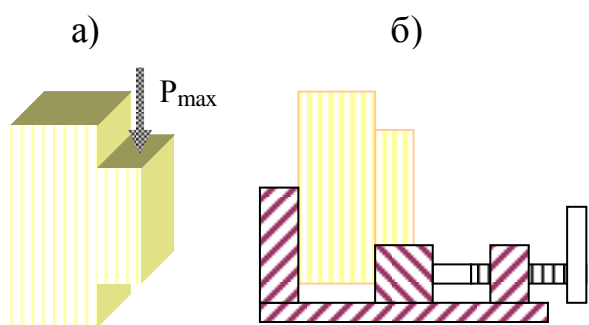


Рис.17. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон

а – образец;

б – испытательное устройство

Изготавливают образцы (3 шт.) специальной формы (рис. 17, а). Площадь скалывания должна быть либо в тангенциальной и радиальной плоскости. Измеряют размеры площади скалывания. Затем образец ставят в специальное приспособление (рис. 17, б) и нагружают до разрушения (откола выступающей части). Скорость нарастания нагрузки должна равняться  $40 \pm 10$  Н/мин.

Предел прочности при скалывании при влажности  $W$  вычисляют по формуле

$$R_{ск(W)}^I = \frac{P_{max}}{b\ell}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (45)$$

где  $P_{max}$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

$b, \ell$  – размеры площади скалывания, см.

Полученные значения приводят к стандартной влажности (12 %) по формуле

$$R_{ск(12\%)}^I = R_{ск(W)}^I [1 + a(W - 12)] \quad (46)$$

где  $a$  – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,03 для всех пород;

$W$  – влажность образца в момент испытания, %.

Результаты испытаний оформляют в виде табл. 23.

Таблица 23

Определения прочности древесины при скалывании

Порода древесины	Номер образца	Плоскость скалывания	Размеры поперечного сечения, м (см)		Максимальная нагрузка, Н (кгс)	Влажность, $W$ , %	Предел прочности при скалывании, МПа	
			$b$	$h$			$R_{ск(W)}^{II}$	$R_{ск(12\%)}^{II}$

Полученные результаты сравниваются со справочными данными (см. табл. 24). Прочность при скалывании вдоль волокон составляет 1/5 часть прочности при сжатии вдоль волокон. Предел прочности при скалывании поперек волокон примерно в два раза меньше предела прочности при скалывании вдоль волокон, что необходимо учитывать при производстве врубок.

## Физико-механические свойства древесины

Порода	Плотность в абсолютно сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Плотность при стандартной влажности, кг/м <sup>3</sup>	Условная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа, при влажности 12 %				Торцовая твердость, МПа	Ударная вязкость, Дж/м <sup>3</sup>
				Сжатие вдоль волокон	Статический изгиб	Скалывание вдоль волокон			
						радиальное	тангенциальное		
Лиственница	600	630	520	65	112	9,9	9,4	44	51933
Сосна обыкновенная	470	500	400	49	86	7,5	7,3	29	41202
Ель	420	445	360	45	80	6,9	6,8	26	39240
Пихта сибирская	350	375	300	39	69	6,4	6,5	28	29430
Граб	760	800	630	60	137	15,6	19,4	91	99081
Дуб	650	690	550	58	108	10,2	12,2	68	76518
Ясень обыкновенный	640	680	550	59	123	13,9	13,4	80	88290
Бук	640	670	530	56	109	11,6	14,5	61	80442
Береза	600	650	520	55	110	9,3	11,2	47	93195
Орех грецкий	-	590	470	55	110	11,0	11,6	-	74556
Осина	470	495	400	43	78	6,3	8,6	27	84360
Липа	470	495	400	46	88	8,6	8,1	26	

**Приборы, инструменты, материалы:** штангенциркуль, образцы древесины в форме прямоугольной призмы 20×20×30 мм, 20×20×300 мм и для определения прочности при скалывании; испытательный пресс с усилием 5...10 тс; приспособления для проведения испытаний на изгиб и скалывание; плакат с показателями физико-механических свойств древесины различных пород.

**Аттестационные вопросы**

1. Как определяют предел прочности при сжатии вдоль волокон?
2. Как определяют предел прочности при статическом изгибе?
3. Какова средняя величина предела прочности при сжатии и изгибе для большинства пород древесины?
4. Как определяют предел прочности при скалывании?
5. Приведите формулу пересчета величины прочности древесины с рабочей влажности на стандартную.
6. Что влияет на показатель величины механической прочности древесины?

**Литература:** [ 1, 2, 3, 6, 12 ].

## ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

### 5.1. Общие сведения

Природный камень – один из древнейших конструктивных и отделочных строительных материалов. Долговечность этого материала позволила сохранить до нашего времени величайшие шедевры архитектуры.

И в наши дни горные породы являются основным источником получения строительных материалов. Так, в результате относительно несложной механической обработки монолитных горных пород получают материалы в виде плит, блоков, бортовых и облицовочных камней, дорожной брусчатки, бутового камня, щебня и др. В огромных количествах используются рыхлые породы: валуны, гравий, песок, глина и др. Также горные породы являются главным сырьем для производства искусственных строительных материалов (строительной керамики, огнеупоров, стекла, цемента, извести и др.), для чего их подвергают сложным видам механической и химической обработки. В настоящее время в нашей стране на нужды промышленности стройматериалов ежегодно расходуется около 2 млрд т горных пород.

Рациональное использование природных каменных материалов обусловлено их минералогическим составом, декоративными характеристиками (цветом, текстурой, насыщенностью) и основными физико-техническими свойствами: плотностью, пористостью, водопоглощением, морозостойкостью, теплопроводностью, прочностью, твердостью, истираемостью и др.

Физико-технические и декоративные свойства природного камня определяют вид фактурной обработки его поверхности.

Учет строителями совокупности свойств природного камня при возведении зданий и сооружений предопределяет их долговечность и архитектурную выразительность.

***Горные породы** – это природные образования более или менее однородного состава и строения, образующие в земной коре самостоятельные геологические тела.*

Они слагают поверхностные слои земной коры толщиной 15...60 км.

Горные породы представляют собой сочетание одного или нескольких минералов и могут быть мономинеральными (гипс, кальцит и др.) или полиминеральными (гранит, сиенит и др.).

***Минералами** называются однородные по химическому составу, строению и физическим свойствам природные тела, образовавшиеся в земной коре в*

*результате физико-химических процессов.*

В большинстве случаев минералы – твердые тела, иногда жидкие и газообразные. Всего в природе более 2 тыс. минералов, но в образовании горных пород участвуют лишь около 50. Такие минералы называются породообразующими минералами.

Зная содержание минералов в горной породе, можно предопределять важнейшие ее свойства.

Природные каменные материалы и изделия получают путем механической обработки горных пород способом дробления, раскалывания, распиловки, тески, шлифования или без таковых (песок, гравий). В природном каменном материале почти полностью сохраняются свойства исходной горной породы.

## **5.2. Цель работы**

Изучение основных характеристик горных пород, породообразующих минералов и области их применения в строительстве.

## **5.2. Порядок выполнения работы**

С помощью учебных плакатов студенты изучают генетическую классификацию горных пород (рис. 18). С помощью коллекций породообразующих минералов и горных пород учатся распознавать их по внешним признакам, определять в полиминеральных породах породообразующие минералы, их пропорциональное соотношение, преобладающий цвет, крупность кристаллов, наличие пор (визуально). С помощью литературных источников, конспекта лекций устанавливаются эксплуатационно-технические и декоративные свойства породообразующих минералов и горных пород, способы их переработки в строительный материал или изделие и вид обработки поверхности камня (фактуры), области использования в строительной практике. Полученные данные оформляются в виде таблицы

Для оказания помощи студентам в оформлении результатов работы, в описании свойств породообразующих минералов и горных пород, а также области их применения в строительстве в работе представлены табл. 25, 26.

При выполнении работы студенты делятся на бригады по 2 - 4 человека и изучают по заданию преподавателя по 3 - 4 разновидности породообразующих минералов и горных пород из числа изверженных, осадочных и метаморфических.

**Приборы, инструменты, материалы:** коллекция породообразующих минералов, коллекция магматических горных пород, коллекция осадочных горных пород, коллекция метаморфических горных пород, образцы строительных материалов и изделий из природного камня, таблицы с показателями эксплуатационно-технических и эстетических свойств природных каменных материалов, породообразующих минералов, строительных материалов и изделий из горных пород, генетическая классификация горных пород, лупа, шкала твердости Мооса.

### ***Аттестационные вопросы***

1. Что такое минерал, горная порода?
2. Как классифицируются горные породы по происхождению?
3. Каковы основные свойства породообразующих минералов?
4. Перечислить основные породообразующие минералы изверженных горных пород.
5. Перечислить основные породообразующие минералы осадочных горных пород.
6. Назвать главные эксплуатационно-технические свойства природного камня.
7. Какие виды строительных материалов и изделий изготавливают из горных пород?
8. Перечислить факторы, вызывающие разрушение строительных материалов из природного камня, и способы защиты их от разрушения (коррозии).
9. Чем объясняется выбор способа и вида фактурной обработки поверхности природных каменных материалов?
10. Перечислить виды фактурной обработки природного камня.

***Литература:*** [ 1, 2, 3, 7, 8, 12 ].



## Основные свойства главных породообразующих минералов горных пород

Наименование минерала	Химическая формула	Физико-механические свойства						Группа по химическому составу	Особые свойства	В состав каких горных пород входит	Применение в строительстве
		цвет	блеск	твердость	спайность	плотность, кг/м <sup>3</sup>	прочность на сжатие, МПа				
<b>I. МИНЕРАЛЫ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД</b>											
<b>Кварц</b>	SiO <sub>2</sub>	Бесцветный, молочный, желтый, прозрачный (хрусталь), фиолетовый (аметист), черный (морион)	Стекланный, на изломе жирный	7	Весьма несовершенная	2600	До 2000	Кварца	Весьма кислото- и щелочестоек, при повышенных температурах в среде насыщенного пара взаимодействует с Ca(OH) <sub>2</sub> , плавится при 1710 °С, при быстром охлаждении дает кварцевое стекло	Гранит, кварцит, порфир, песчаник.	В качестве мелкого заполнителя в строительных бетонах и растворах при производстве строительной керамики, стекла, асфальтобетона и др.
<b>Полевые шпаты</b>	Na[Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]-альбит	Белый, серый	Стекланный	6 - 6,5	Совершенная	2610... 2760	120... 170	Алюмосиликатов	Разрушаются под влиянием резких смен температур, под воздействием воды, углекислоты, плавятся при 1170...1550 °С.	Гранит, диорит, порфир	В качестве цветных песков при производстве отделочных растворов, в производстве керамики, глазурей
<b>плагноклаз (косо- скалы- вающий)</b>	Ca[Al Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]-анортит	Серый с оттенками (зеленым, синеватым, красноватым)	Стекланный	6 - 6,5	Совершенная			-II-		Габбро, базальт, диабаз.	
<b>Ортоклаз (прямоскалы- вающий)</b>	K[Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Розовый, красный, желтый, серо-розовый	Стекланный	6	Совершенная	2500... 2600	150	Алюмосиликатов	При раскалывании образует близкие по форме к кубу изделия	Гранит, сиенит, порфир, гнейс, диорит.	В качестве цветных песков
<b>Оливин</b>	(MgFe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Оливково-зеленый	Стекланный и жирный	6,5 - 7	Несовершенная	3200... 4350	—	Силикатов	По сравнению с авгитом и роговой обманкой стойкость против выветривания понижена	Диабаз, базальт	—

Продолжение табл. 25

Наименование минерала	Химическая формула	Физико-механические свойства						Группа по химическому составу	Особые свойства	В состав каких горных пород входит	Применение в строительстве
		цвет	блеск	твердость	спайность	плотность, кг/м <sup>3</sup>	прочность на сжатие, МПа				
<b>Слюды:</b> <b>мусковит</b>	$KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$	Белый	Стекло- ный	2 - 3	Весьма совершенная в одном направлении	2700... 3100	—	Водных алюмо- силика- тов	Обладает высокой прочностью и вязкостью, понижают стойкость породы, ухудшает шлифовку	Гранит, сиенит, габбро, порфир, и др.	В отделочных работах, при производстве рубероида
<b>биотит</b>	$K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}][OH,Fe]_2$	Черный	Стекло- ный	2 - 3	—	2700... 3000	—	Водных алюмо- силика- тов	Стойкость ниже, чем у мусковита.	Гранит, сиенит, габбро, порфир, и др.	В отделочных работах
<b>Авгит</b> (из числа пироксенов)	$Ca(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$	Зеленовато- черный, буро-чер- ный	Стекло- ный	5 - 6,5	Совер- шенная	3200... 3600	—	Железисто- магнети- альных силикатов	Придает породе хрупкость, затрудняет полировку, повышает сопротивляемость. Высокая ударная вязкость, повышают стойкость против выветривания	—	—
<b>Роговая обманка</b> (из амфиболов)	$Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al)_2[(Si,Al)_4OH]_2[OH]_2$	Зеленый, бурый с от- тенками	Стекло- ный	5,5 - 6	Совер- шенная	3100... 3300	—	Алюмо- силикатов	—	Гранит (в не- большом количе- стве)	—

Наименование минерала	Химическая формула	Физико-механические свойства						Группа по химическому составу	Особые свойства	В состав каких горных пород входит	Применение в строительстве
		цвет	блеск	твердость	спайность	плотность, кг/м <sup>3</sup>	прочность на сжатие, МПа				
<b>2. МИНЕРАЛЫ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД</b>											
<b>Кальцит</b>	CaCO <sub>3</sub>	Бесцветный, молочно-белый с различными оттенками	Стеклянный	3	Весьма совершенная	2600... 2800	90... 150	Карбонатов	Разрушается под действием кислот, неатмосферостоек, разрушается при действии высоких температур	Плотные известняки, мрамор, мел	Производство извести, цемента, побелочных составов, при производстве керамики, для отделочных работ
<b>Доломит</b>	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	Серо-белый с различными оттенками, иногда прозрачен	Стеклянный	3,5 - 4	Совершенная	2800... 2900	15... 200	Карбонатов	Обладает высокой реакционной способностью к Ca(OH) <sub>2</sub> , кислотам. Декоративен	Доломит, плотный известняк, мрамор	Производство извести, для внутренних отделочных работ
<b>Опал</b>	SiO <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	Бесцветный, молочно-белый с голубым, желтым, черным оттенками	Стеклянный	5 - 6	Весьма совершенная	1900... 2500	90... 120	Кварца	Обладает высокой реакционной способностью к Ca(OH) <sub>2</sub> , высокодисперсной и внутренней микропористостью	Диатомит, трепел, породы вулканического происхождения	Для изготовления минеральных смешанных вяжущих веществ, в производстве силикатных бетонов
<b>Ангидрит</b>	CaSO <sub>4</sub>	Белый, серый, голубоватый	Стеклянный	3 - 3,5	Совершенная	2800... 3000	80... 100	Сульфатов	Растворяется в кислотах, воде, обладает пониженной морозостойкостью	Ангидрит	Для приготовления ангидритовых вяжущих (гипсовых) веществ, для внутренней отделки
<b>Магнезит</b>	MgCO <sub>3</sub>	Бесцветный, белый, серый, желтый	---	3,5 - 4,5	---	2900... 3100	90... 150	Карбонатов	Обладает декоративными свойствами. Реакционно способен к кислотам.	Магнезит	Для получения магнезиальных вяжущих веществ

Наименование минерала	Химическая формула	Физико-механические свойства						Группа по химическому составу	Особые свойства	В состав каких горных пород входит	Применение в строительстве
		цвет	блеск	твердость	спайность	плотность, кг/м <sup>3</sup>	прочность на сжатие, МПа				
<b>Гипс</b>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Белый с различными оттенками	Стекланный, иногда матовый	1,5 - 2	Совершенная	2200...2400	15...80	Сульфатов	Сравнительно легко растворяется в воде, кислотах, не атмосферостоек, разрушается при высоких температурах	Гипс	Для получения гипсовых вяжущих, цементов, смешанных вяжущих
<b>Каолинит</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Белый, иногда цвет зависит от примесей	—	1	—	2600	—	Алюмосиликатов	Наличие каолинита в составе горных пород понижает их водо- и морозостойкость. Устойчив в кислой среде	Глины, известняки, песчаники, доломиты, мел и др.	Получение цемента, строительной керамики, фарфора
<b>Тальк</b>	Mg <sub>3</sub> [SiO <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]·(OH) <sub>2</sub>	Белый, бледно-зеленый, светло-желтый	Жирный	1	Весьма совершенная	2700...2800	—	Сульфатов	Достаточно хорошо сопротивляется выветриванию	Входит в состав тальковых сланцев и известняков в виде плотных листовых масс.	Для получения смазочных материалов

### 3. МИНЕРАЛЫ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

*Минералогический состав метаморфических горных пород идентичен исходным магматическим и осадочным горным породам*

## Классификация горных пород по происхождению



**Происхождение, условия образования**

**Особенности структуры**

**Разновидности горных пород**

Рис.18



Таблица 26

## Основные строительно-технические свойства и применение важнейших горных пород в строительстве

Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение	
						достоинства	недостатки		
<b>1. МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ</b>									
<b>Гранит</b>	<b>Интрузивные породы</b>	Полнокристаллическая, крупно- и мелкозернистая, иногда порфировая	Плотная массивная	Полихромный. Цветовые тона разнообразны, преобладают красные и серые, встречаются розовые, желтоватые, зеленовато-бурые	Кварц (20-40%), ортоклаз (40-70%), мусковит, биотит	$\rho_m=26..28$ ; $R_{сж}=100..250$ ; $T_v=6..7$ ; $Пор=0,5..1,5$ ; $V=0,1..1,0$ ; $I=0,1..0,5$ ; $K_p=0,7..0,9$	Декоративность, однородность структуры, получение любой фактуры, хорошая сопротивляемость коррозии, высокая морозостойкость	Значительные трудозатраты на добычу и обработку, высокая стоимость изделий	Плиты: цокольные, облицовочные, подоконные, для полов; ступени, карнизы, колонны, парапеты, балясины. Для получения щебня, дробленого песка, дорожно-строительных материалов: бортового камня, брусчатки, шашки; в гидротехническом строительстве
<b>Сиенит</b>		Мелко-средне- и крупнозернистая	Плотная массивная	Серый, темно-серый, серо-голубой, темно-розовый	Полевой шпат, ортоклаз, роговая обманка, биотит	$\rho_m=26..28$ ; $R_{сж}=150..180$ ; $T_v=6..7$ ; $Пор=0,5..1,5$ ; $K_p=0,7..0,9$	Декоративность, хорошая полируемость, хорошая сопротивляемость коррозии, высокая морозостойкость	Значительные трудозатраты на добычу и обработку, высокая стоимость изделий	Плиты: цокольные, облицовочные, для полов; колонны. Дорожно-строительных материалов: бортового камня, брусчатки, шашки; в гидротехническом строительстве. Для получения щебня, песка
<b>Диорит</b>		Средне и крупнозернистая	Плотная массивная	От серого до темно-зеленого и черного	Плагиоклаз (75%), роговая обманка, авгит, биотит	$\rho_m=27..29$ ; $R_{сж}=180..300$ ; $T_v=7..8$ ; $Пор=0,5..1,5$ ; $I=0,3..0,5$	Декоративность, хорошая полируемость, хорошая сопротивляемость выветриванию, высокая ударная вязкость	Значительные трудозатраты на добычу и обработку, высокая стоимость изделий	Подпорные камни, фундаменты мостовых сооружений. Плиты: цокольные, облицовочные; ступени. Дорожно-строительные материалы: брусчатка, шашка
<b>Габбро</b>		Средне и крупнозернистая, часть порфировидная	Плотная массивная	Хроматический. Цветовые тона: темные: от серого до черного	Плагиоклаз, темноокрашенные минералы (авгит, оливин, роговая обманка)	$\rho_m=29..30$ ; $R_{сж}=160..350$ ; $T_v=6..8$ ; $Пор=0,01..0,2$ ; $V=0,01..0,2$ ; $I=0,1..0,53$	Декоративность, получение любой фактуры поверхности, долговечность	Значительные трудозатраты на добычу и обработку, высокая стоимость изделий	Плиты: цокольные, подоконные; парапеты, карнизы, колонны, ступени, профильные изделия; для настилки полов, памятников, в камнетейном производстве
<b>Лабрадорит</b> (разновидность габбро)		Кристаллическая крупнозернистая	Плотная массивная	Темные тона: от серого до черного, включая синий	Плагиоклаз (лабрадор), роговая обманка, авгит	$\rho_m=28..29$ ; $R_{сж}=95..180$ ; $T_v=6..7$ ; $V=0,2..1$ ; $I=0,1..0,3$	Декоративность, получение полированной фактуры, долговечность, антикоррозионность	Значительные затраты на добычу и обработку, высокая стоимость изделий	Плиты цокольные, парапеты, карнизы, колонны, профильные изделия, для настилки полов, памятников, как декоративный камень

Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение	
						достоинства	недостатки		
<b>Порфиры : кварцевый бескварцевый</b>	ЭФФЕКТИВНЫЕ ПЛОТНЫЕ ПОРОДЫ	Порфировая, неполнокристаллическая, содержат остаточное стекло	Плотная массивная. Часто пористая	Красно-бурый, серый, зеленоватый. От серого до зеленовато-черного, желтоватого, красноватого	По составу близок к граниту. По составу близок к сиениту	$\rho_m=22..26$ ; Rсж=60..180 ; Тв=5..6; В=0,2..1 ; И=0,1..0,3	Достаточно высокая плотность, декоративность. За счет наличия вкраплений крупных кристаллов кислого полевого шпата и кварца	Неоднородное строение, меньшая устойчивость к выветриванию. Большая истираемость, чем у интрузивных горных пород. Плохо полируется	Отделочный материал для внешней и внутренней отделки в виде плит; в дорожном строительстве: в качестве бортового камня, брусчатки, шашки, щебня; для производства тесаного камня, бута
<b>Диабаз (аналог габбро)</b>		Скрыпокристаллическая с зернами различной крупности, иногда порфировая, обычно мелкокристаллическая.	Плотная массивная	От темно-зеленого до черного	Полевой шпат, авгит (не содержит стекла в отличие от базальта), кварц	$\rho_m=28..29$ ; Rсж=300..450 ; Тв=6..7 Пор=0,18; В=0,01..0,2; И=0,1..0,5	Высокая прочность, достаточная ударная вязкость, малая истираемость, способность раскалываться на куски правильной формы, декоративность, долговечность	По сравнению с габбро имеет пониженную твердость и обрабатываемость	Плиты различного назначения; в дорожном строительстве: брусчатка, шашки, бортовой камень, щебень; в качестве сырья для каменного литья, кислотоупорных изделий, для облицовочных работ, в виде штучных камней
<b>Базальт (аналог габбро)</b>		Мелкокристаллическая, порфировая, скрыпокристаллическая, стекловатая.	Плотная, пластовая, столбчатая, иногда трещиноватая, пористая	Монохроматический, тона темные, преимущественно серые вплоть до черного	Полевой шпат, авгит	$\rho_m=30..33$ ; Rсж=100..500 ; Тв=6..7 Пор=0,01; В=1,0..4,9; И=0,4..1,0	Обладают кислотостойкостью, высокой прочностью, долговечностью, легко разрабатываются	Хрупкие, значительное колебание прочности, наличие раковин и трещин, хрупкость, трудность обработки	В дорожном строительстве: в качестве щебня, для каменного литья; в кислотоупорных изделиях, в облицовочных работах, в производстве минеральной ваты.
<b>Трахит</b>		Порфировая	Пористая	Окраска белая, серая, желтоватая	Полевой шпат, вулканические стекла	$\rho_m=22..26$ ; Rсж=60..70 ; Тв=4..5	Хорошо поддаются обработке	Быстро выветриваются, пониженная истираемость и морозостойкость, плохо полируются	Изготовление бута, щебня, колотого и тесаного дорожного камня, кислотоупорные материалы, как отделочные материалы
<b>Андезит (аналог диорита)</b>		Порфировая с плотной основной массой	Пористая или массивная	Серый или желтовато-серый, буроватый	Плагиоклаз, роговая обманка, биотит	$\rho_m=27..31$ ; Rсж=140..250 ; Тв=6..7	Обладают кислотостойкостью, высокой прочностью, долговечностью	Хрупкие, значительное колебание плотности и прочности	Кислотостойкие материалы и изделия, стеновые изделия, дорожный камень



Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение	
						достоинства	недостатки		
<b>Вулканический туф</b>	<b>Эффузивные пористые породы</b>	Обломочная, частично кристаллическая	Крупнопористая, стекловатая, плотная и рыхлая	Монохроматический, цвета: розовый, фиолетовый, темно-серый, кирпично-красный, бурый, бурый и др.	Продукт застывания магмы, базальтового или андезитового состава. Полевые шпаты, кварцевое стекло	$\rho_m=0,95..1,3$ ; R сж=6..19; Тв=3; Пор = 4..40 (до 60); В=до 16	Декоративность, невысокие затраты на добычу и обработку, морозостойкость, долговечность, звукоизоляция, теплоизоляция, пвздымость	Подверженность загрязнению в условиях окружающей среды, способность распадаться при атмосферных воздействиях	Плиты облицовочные, стеновые блоки, камни, профильные изделия, заполнитель для легких бетонов, в качестве гидравлической добавки к извести и цементам
<b>Туфовая лава</b>		Стекловатая	Пористая, стекловатая	Розовый, фиолетовый, кирпичневый	Кварц, каолинит	$\rho_m=0,75..1,4$ ; R сж=5..20; Пор=45..70	Стойки к выветриванию, обладают хорошей теплопроводностью, легко обрабатываются, легко полируются	Неравномерная окраска, способность разрушаться под атмосферными воздействиями	В качестве стеновых камней, бутового камня, как заполнитель в легких бетонах
<b>Пемза</b>		Стекловатая	Ноздреватая	Серый, черный, белый	Кварц, каолинит	$\rho_m=0,4..1,4$ ; R сж=0,4..2; Тв=6; Пор до 80	Низкий коэффициент морозостойкости, легкость обработки, химическая стойкость	Невысокая прочность, распространена в зоне вулканов	В качестве теплоизоляционного материала, как заполнитель в легких бетонах, как активная минеральная добавка к извести и цементам
<b>2. ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ</b>									
<b>Глыбы, Валуны, Галька, Щебень, Гравий, Дресва</b>	<b>Грубообломочные породы</b>	Такая же, как у первичной породы	Такая же, как у первичной породы	Такой же, как у первичной породы	Такие же, как у первичной породы	Размер частиц: 100...1000 мм	-	-	Бутовый камень, дорожная шашка
						10...100 мм			Бетонные и железобетонные массивные сооружения, дорожное строительство
						1...10 мм			-    -

Продолжение табл. 26

Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение	
						достоинства	недостатки		
<b>Песок</b>	Тонкообломочные породы	Рыхлозернистая	Морские и речные пески имеют окатанную форму, ледниковые — угловатую	Светлые, желтоватые тона	Кварц, полевой шпат, слюда, кальцит	$\rho_{на\bar{c}}=1,5..1,6$ $\rho=2,60..2,65$	Распространенность в природе, легкость добычи и транспортировки	Различный гранулометрический состав. Наличие примесей (частиц пыли, глины, гумуса, слюды и др.)	Сырье для раствора, бетона, стекла, кирпича, керамических изделий. Дорожные покрытия, гидротехнические сооружения (плотины, дамбы)
<b>Глина</b>		Связнозернистая	-	Белый, желтый, бурый	Каолинит, монтмориллонит, галлуазит	-	Распространенность в природе, пластичность, спекаемость	Тщательная переработка глины. Усадка при сушке и обжиге	Кирпич, черепица, трубы канализационные и дренажные, огнеупоры, раковины, бачки, унитазы, плитки для облицовки стен и для пола
<b>Конгломераты</b>	Сцементированные породы	Конгломератная	Монолитная, массивная	Серый, черный, желтый, коричнево-желтый, красно-бурый	Такие же, как у первичной породы	$\rho_m=1,5..2,9$ $R_{сж}=5..160$	-	Нестабильность состава и свойств; трудоемкая распиловка и полировка, ограниченное количество месторождений	Покрытия полов, отделочные, декоративные камни; для получения балласта
<b>Песчаники</b>		Плотная, сцементированная.	Плютная.	Серый, зеленый, желтый, коричневый, бурый, красный	Кварц, полевой шпат, кальцит	$\rho_m=1,9..2,8$ $R_{сж}=1..150$ $T_b=4..5$ $Пор=2,8..3$ $V=0,2..0,25$ $I=0,5..5$ $K_p=0,8..0,9$	Химическая стойкость; хорошо поддаются теске; наиболее прочными являются кремнистые песчаники ( $R_{сж}=100..150$ )	Не полируются; глинистые песчаники имеют низкую прочность и морозостойкость, известковые — водостойкость	Для получения стенового камня, бута, щебня, декоративного материала, кислотоупорных и огнеупорных изделий

Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение	
						достоинства	недостатки		
<b>Гипс</b>	Химические породы	Мраморовидная, крупнозернистая	Плотная	Белый, серый, розовый, желтый, коричневый	Гипс	$\rho_m=22..24$ ; R сж=5..30; Тв=2; В=0,2..3; И=1..5	Легко обрабатывается, хорошо полируется; при производстве вяжущих имеет низкую температуру обжига (160 °С)	Включения глинистых веществ, низкая водостойкость	Для производства строительного гипса, в качестве облицовочного камня, как добавка при производстве цемента
<b>Ангидрит</b>		Зернисто-кристаллическая	Плотная	Белый, серый, голубоватый	Ангидрит	$\rho_m=28..29$ ; R сж=60..80; Тв=3	Легко обрабатывается механически	Низкая водостойкость	Стеновой, отделочный материал; при производстве вяжущих веществ
<b>Известняк</b>		Микрозернистая, зернистая, кристаллическая	Пористая, кавернозная	Белый, серый, желтый	Кальцит, кварц, глинистые минералы	$\rho_m=2,0..2,6$ ; R сж=20..50; Тв=3	Легкость добычи и механической обработки, долговечность	Невысокая коррозионная стойкость	В качестве бутового камня, для стен зданий, для наружной облицовки, как заполнитель в бетонах, для получения извести, цемента, керамики, стекла
<b>Магнезит</b>		Плотная, микрозернистая, кристаллическая	Плотная	Бесцветный, белый, серый, желтый	Магнезит	$\rho_m=2,7..3,0$ ; R сж=25..200; Тв = 4; В = 0,2... 15	Легкость добычи и механической обработки	Редко встречаются в природе; невысокая коррозионная стойкость	Для получения магнезиальных вяжущих веществ, огнеупоров
<b>Доломит</b>		Плотная, микрозернистая, кристаллическая, зернистая	Плотная, пористая, трещиноватая	Белый, желтовато-белый, светло-бурый	Доломит, кальцит	$\rho_m=2,5..2,9$ ; R сж = 15..200; Тв = 3; В = 0,2... 15	Легкость добычи и механической обработки	Невысокая коррозионная стойкость	В качестве бутового камня, для стен зданий, для наружной облицовки, как заполнитель в бетонах, для получения извести, цемента, керамики, огнеупоров, стекла
<b>Известковый туф</b>		-	Пористая	Белый, серый, коричневый	Кальцит	$\rho_m=2,1...2,3$ R сж = 20...40; Тв = 3; Пор = 5...14; В = 4...40.; И = 5 и более	Легкость обработки	Малая прочность, высокая пористость, невысокая коррозионная стойкость, недолговечность	В качестве штучных камней для кладки стен, щебня для легких бетонов, для получения извести, для облицовки, для получения цемента, в том числе белого, для производства архитектурных деталей

Продолжение табл. 26

Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение	
						достоинства	недостатки		
<b>Известняк</b>	<b>Органогенные породы</b>	Кристаллическая, мраморовидная, скрытокристаллическая.	Плотные, мелко- и крупнопористые, кавернозные	Белый, красноватый, зеленоватый, желтый, серый.	Кальцит, реже магнезит, кварц, глинистые минералы.	$\rho_m = 1,2 \dots 3,1$ ; Rсж = 10..200; Тв = 3; И = 1..5.	Хорошо обрабатывается, высокая прочность (для плотных известняков), долговечность.	Разрушается под действием кислот. Примеси кварца и глины снижают качество известняка.	Для изготовления плит, фасонных деталей, для облицовки стен, лестничных ступеней, подоконников, цоколей, карнизов, бута, заполнителя для бетонов, для получения извести, для получения цемента, в том числе белого, для производства архитектурных деталей.
<b>Известняк-ракушечник</b>		Скрытокристаллическая, крупнокристаллическая	Крупнопористая	Белый, серый, розовый, золотисто-желтый	Кальцит, кварц, плагиоклаз	$\rho_m = 0,6 \dots 1,7$ ; Rсж = 2..60; Тв = 2; В = 20..30.	Хорошо обрабатывается, шлифуется, полируется); низкая теплопроводность, долговечность.	Невысокая коррозионная стойкость.	Стеновой материал и для наружной и внутренней облицовки зданий
<b>Мел</b>		Микрозернистая	Землистая	Белый	Кальцит, в небольших количествах глинистые вещества и кварц.	$\rho_m = 1,5 \dots 1,6$ ; Rсж = 0,8..5	Легкость обработки.	Низкая водостойкость, химическая и атмосферостойкость.	Для получения извести, цемента, в керамике, при производстве меловых и вододисперсионных красок, при производстве стекла, пластмасс
<b>Трепел</b>		Слабоцементированная	Пористая	Белый, серый	Опал	$\rho_m = 0,5 \dots 1,3$	Высокая огнеупорность, кислотостойкость, низкая звуко- и теплопроводность	Низкая прочность	Звуко- и теплоизоляционные материалы, огнеупорные и кислотостойкие материалы, адсорбенты, фильтрующие материалы
<b>Опока</b>		Мелкозернистая	Пористая	Белый, серый, светло-желтый	Опал	$\rho_m = 1,2 \dots 1,5$ ; Rсж = 1,0..3,0; Пор = 20..40	Легкость обработки, низкая звуко- и теплопроводность	Низкая морозостойкость	Стеновой материал, заполнитель в бетонах, для получения белых вяжущих веществ

Наименование породы	Структура	Текстура	Цвет	Главные породообразующие минералы	Строительно-технические свойства	Основные особенности		Рекомендуемое применение
						достоинства	недостатки	
<b>3. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ</b>								
<b>Мрамор</b> (из известняков)	Кристаллическая, мелкозернистая	Плотная	Полихроматические разнообразные тона: розовый, красный, белый, черный, зеленый	Кальцит (прочносросшийся), доломит, иногда магнетит, слюда, кварц	$\rho_m = 2,7 \dots 2,85$ ; R сж = 50...300; Тв = 3...4; Пор = 0,9...3; В = 0,1...0,7; И = 0,2...2,0; Кр = 0,8...0,9	Декоративность, хорошо шлифуется, легко обрабатывается, возможность получения любой фактуры	Подверженность коррозии и выветриванию под действием воды, сернистого газа, кислот, изменения температуры. Не рекомендуется для наружной облицовки	Плиты облицовочные, цокольные, ступени для полов, карнизы, профильные изделия, колонны, парапеты, декоративные изделия, скульптура. Отходы мраморообработки используются для получения отделочных растворов, бетонов, в виде минерального порошка
<b>Гнейс</b> (из гранитов)	Кристаллическая, крупно- и мелкозернистая	Плотная, сланцеватая	Полихромные цветовые тона, преобладает серый и розовый	Ортоклаз, плагиоклаз, кварц, слюды, авгит	$\rho_m = 2,5 \dots 2,6$ ; R сж = 60...100	Декоративность, разнообразная цветовая гамма, долговечность, антикоррозийность	Менее долговечны, чем граниты из-за сланцеватого строения, значительные затраты на добычу и обработку	Плиты : цокольные, подоконные; ступени, карнизы, колонны, дорожно-строительный камень, щебень, профильные изделия; бутовые плиты для кладки фундаментов, тротуаров, облицовки каналов, набережных
<b>Кварцит</b> (из песчаников)	Кристаллическая, мелко- и среднезернистая	Плотная, равномерно кристаллическая	Монохроматические разнообразные цвета: красный, розовый, серый, белый, фиолетовый	Кварц перекристаллизованный, сцементированный кремнистым веществом	$\rho_m = 2,5 \dots 2,7$ ; R сж = 80...400; Тв = 6...7; Пор = 0,7...0,8; В = 0,01...0,2; И = 0,1...0,3; Кр = 0,9	Декоративность, разнообразная цветовая гамма, однородность окраски, долговечность	Хрупкость, гладкая поверхность раскола и острые ребра щебня	Плиты для наружной облицовки повышенной стойкости; в виде щебня, бута; плиты для полов, ступени, профильные и декоративные изделия
<b>Сланец</b> (из глин)	Кристаллическая, мелко- и среднезернистая	Слоистая	Хроматические темные цветовые тона, преимущественно темно-серый или черный	Кварц, слюда, каолинит	$\rho_m = 2,4 \dots 2,6$ ; Тв = 3...5	Достаточная водостойкость, стойкость против выветривания, легко раскалывается на тонкие (3...10 мм) плитки	Малая прочность, хрупкость, ограниченность применения	В качестве кровельного и стенового материала, реже в виде плит для тротуаров. Материал преимущественно местного значения

Условные обозначения:  $\rho_m$  — средняя плотность, г/см<sup>3</sup>;  $\rho$  — истинная плотность, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{нас}$  — насыпная плотность, г/см<sup>3</sup>; R<sub>сж</sub> — предел прочности при сжатии, МПа; Тв — твердость по шкале Мооса; Пор — пористость, %; В — водопоглощение, %; И — истираемость, г/см<sup>2</sup>; Кр — коэффициент размягчения.



## ИСПЫТАНИЕ ПЕСКА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

### 6.1. Общие сведения

Песок применяется в качестве заполнителя для тяжелых, легких, мелкозернистых, ячеистых и силикатных бетонов, строительных растворов, для приготовления сухих смесей, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов.

Свойства бетонов и растворов в значительной степени обуславливаются качеством мелкого заполнителя – песка.

Песок, вместе с крупным заполнителем (щебнем или гравием), занимают до 80 % объема бетона, обуславливая снижение расхода вяжущего вещества при изготовлении изделий.

Заполнители создают в бетоне жесткий каменный скелет, воспринимающий усадочные напряжения и уменьшающий усадку обычного бетона примерно в 10 раз по сравнению с усадкой цементного камня. Жесткий скелет из высокопрочных заполнителей увеличивает прочность и модуль упругости бетона, уменьшает его ползучесть.

К песку относят заполнитель с размером зерен от 0,16 до 5 мм.

Песок для строительных работ подразделяется на следующие виды:

*природный песок* – материал, получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений;

*дробленный песок* – материал, получаемый дроблением скальных горных пород и гравия;

*фракционированный песок* – песок, искусственно разделенный на две или более фракций;

*песок из отсевов дробления* – материал, получаемый из отсевов дробления горных пород при производстве щебня.

По насыпной плотности в сухом состоянии разделяют легкие ( $\rho_n < 1200$  кг/м<sup>3</sup>) и тяжелые ( $\rho_n > 1200$  кг/м<sup>3</sup>) мелкие заполнители.

В зависимости от зернового состава песок подразделяют на 8 групп по крупности: очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

В зависимости от зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц песок подразделяется на два класса:

I класс (включает в себя 5 групп крупности) – очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний и мелкий.

II класс (включает в себя 8 групп крупности) – очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Качество песка оценивается по результатам лабораторных испытаний.

Песок, предназначенный для строительных работ, должен обязательно удовлетворять требованиям норм относительно зернового состава, содержания органических примесей, пылевидных и глинистых частиц, радиационно-гигиенической характеристике. При подборе состава бетона могут также определяться плотность зерен песка, пустотность, насыпная плотность и другие показатели.

## 6.2. Цель работы

Ознакомиться с техническими требованиями на песок для строительных работ, методами испытания песка, научиться давать оценку возможности использования песка для приготовления бетонов, растворов и для других строительных целей

## 6.3. Порядок выполнения работы

### 6.3.1. Определение истинной плотности зерен песка

Истинную плотность определяют путем измерения массы единицы объема высушенных зерен песка. Истинную плотность определяют с помощью мерного цилиндра, пикнометра или прибора Ле-Шателье (см. лабораторная работа № 1, п. 1.3.1.).

*Мелкий заполнитель в плотном тяжелом бетоне должен иметь плотность зерен 2,0...2,8 г/см<sup>3</sup>.*

### 6.3.2. Определение насыпной плотности песка

Насыпную плотность определяют в неуплотненном состоянии с помощью мерного сосуда вместимостью 1 л (см. лабораторная работа № 1, п. 1.3.3.).

Результаты опытов заносят в табл. 25.

Таблица 25

Результаты определения насыпной плотности песка

Номер пробы	Масса, кг		Объем (V), м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	
	$m_1$	$m_2$		частные значения	среднее значение

*Для обычного тяжелого бетона применяется песок с насыпной плотностью более 1400 кг/м<sup>3</sup>.*



### 6.3.3. Определение пустотности песка

Пустотность (содержание межзерновых пустот) песка в стандартном неуплотненном состоянии определяют расчетом на основании предварительно установленных значений истинной плотности и насыпной плотности песка.

Пустотность песка ( $V_{м.п.}$ ) в % по объему вычисляют по формуле:

$$V_{м.п.} = \left( 1 - \frac{\rho_n}{\rho} \right) \cdot 100\%, \quad (47)$$

где  $\rho$  – истинная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – насыпная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>.

*Пустотность – очень важная характеристика заполнителя. При изготовлении плотного конструкционного бетона, чем меньше пустотность заполнителя, тем меньше расход цементного теста и соответственно цемента.*

### 6.3.4. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц

Содержание в песке пылевидных, глинистых частиц (размер частиц  $\leq 0,05$  мм) определяется методом отмучивания. Для этого из средней пробы песка отвешивают 1000 г и высыпают в цилиндрический сосуд для отмучивания (диаметром 120 мм и высотой 320 мм); заливают водой выше уровня песка на 200 мм. Песок выдерживают в воде 2 ч, перемешивая его несколько раз и тщательно отмывая от приставших к зернам глинистых частиц. Затем содержимое сосуда энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин покоя сливают мутную воду до уровня 30 мм над песком. Затем снова заливают чистую воду до первоначального уровня и повторяют опыт. Песок промывают до тех пор, пока сливаемая вода не станет прозрачной.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц ( $\Pi_{отм}$ ) в % рассчитывают по формуле:

$$\Pi_{отм} = \frac{(m - m_1)}{m} \cdot 100\%, \quad (48)$$

где  $m$  – масса высушенного песка до отмучивания, г;

$m_1$  – масса высушенного песка, после отмучивания, г.

*Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц не должно превышать значений, указанных в табл. 26, с помощью которой устанавливается класс песка.*

## Характеристики песка по содержанию пылевидных и глинистых частиц

Класс и группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	
	в песке природном	в песке из отсевов дробления
<b>I класс</b>		
Очень крупный	-	3
Повышенной крупности, крупный и средний	2	3
Мелкий	3	5
<b>II класс</b>		
Очень крупный	-	10
Повышенной крупности, крупный и средний	3	10
Мелкий и очень мелкий	5	10
Тонкий и очень тонкий	10	Не нормируется

Суммарное содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать: в песке для бетонов 3 %, для кладочных растворов 10 % и для штукатурных растворов 15 % по массе.

### 6.3.5. Определение наличия органических примесей

Наличие органических примесей (гумусовых веществ) определяют сравнением окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона.

Для этого из средней пробы песка в состоянии естественной влажности берут навеску около 250 г. Наполняют песком мерный цилиндр вместимостью 250 мл до уровня 130 мл и заливают 3-процентным раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл. Содержимое цилиндра перемешивают и оставляют на 24 ч, повторяют перемешивание через 4 ч после первого перемешивания. Затем сравнивают окраску жидкости, отстоявшейся над пробой, с цветом эталонного раствора или стеклом, цвет которого идентичен цвету эталонного раствора.

*Песок пригоден для использования в бетонах или растворах, если жидкость над пробой бесцветна или окрашена значительно слабее эталонного раствора.*

При окраске жидкости незначительно светлее эталонного раствора цвета содержимое сосуда подогревают в течение 2...3 ч на водяной бане при 60...70 °С и вновь сравнивают цвет жидкости с цветом эталонного раствора.

Эталон готовят заранее. Он состоит из смеси 5 мл 2-процентного раствора танина в 1-процентном растворе этилового спирта и 195 мл 3-процентного водного раствора гидроксида натрия.

### 6.3.6. Определение зернового состава и модуля крупности песка

Зерновой состав песка определяют путем отсева песка на стандартном наборе сит (рис. 19).

Пробу высушенного песка массой 2 кг просеивают через сита с отверстиями диаметрами 5 и 10 мм с целью определения содержания в песке гравия.

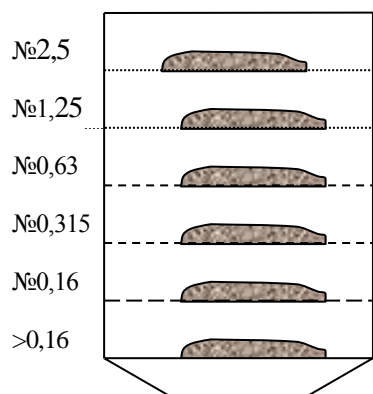


Рис.19. Определение зернового состава песка

Из части пробы песка, прошедшего через сито 5 мм, отбирают навеску в 1000 г, которую просеивают через стандартный набор сит с отверстиями 2,5 мм, 1,25 мм, 0,63 мм, 0,315 мм и 0,16 мм. Рассев производят на лабораторном трясуне или вручную. По окончании отсева взвешивают остатки на ситах и определяют частные остатки ( $a_i$ ), в %, на каждом сите (отношение массы остатка на данном сите к массе просеиваемой навески) по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (49)$$

где  $m_i$  — масса остатка на данном сите, г;  
 $m$  — масса просеиваемой навески, г.

Полные остатки ( $A_i$ ), % на каждом сите (сумма частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите) в процентах вычисляют по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (50)$$

где  $a_{2,5}; a_{1,25}; a_i$  — частные остатки на соответствующих ситах, %.

Модуль крупности песка вычисляют по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (51)$$

где  $A_{2,5}; A_{1,25}; A_{0,63}; A_{0,315}; A_{0,16}$  — полные остатки на ситах, %.

Результаты определения зернового состава и расчета модуля крупности песка заносят в табл. 27 и изображают графически в виде кривой отсева (рис. 20)

Таблица 27

Зерновой состав песка

Наименование остатка	Остатки на ситах, %					Проход через сито № 016, %	$M_k$
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
Частные	$a_{2,5}$	$a_{1,25}$	$a_{0,63}$	$a_{0,315}$	$a_{0,16}$		
Полные	$A_{2,5}$	$A_{1,25}$	$A_{0,63}$	$A_{0,315}$	$A_{0,16}$		

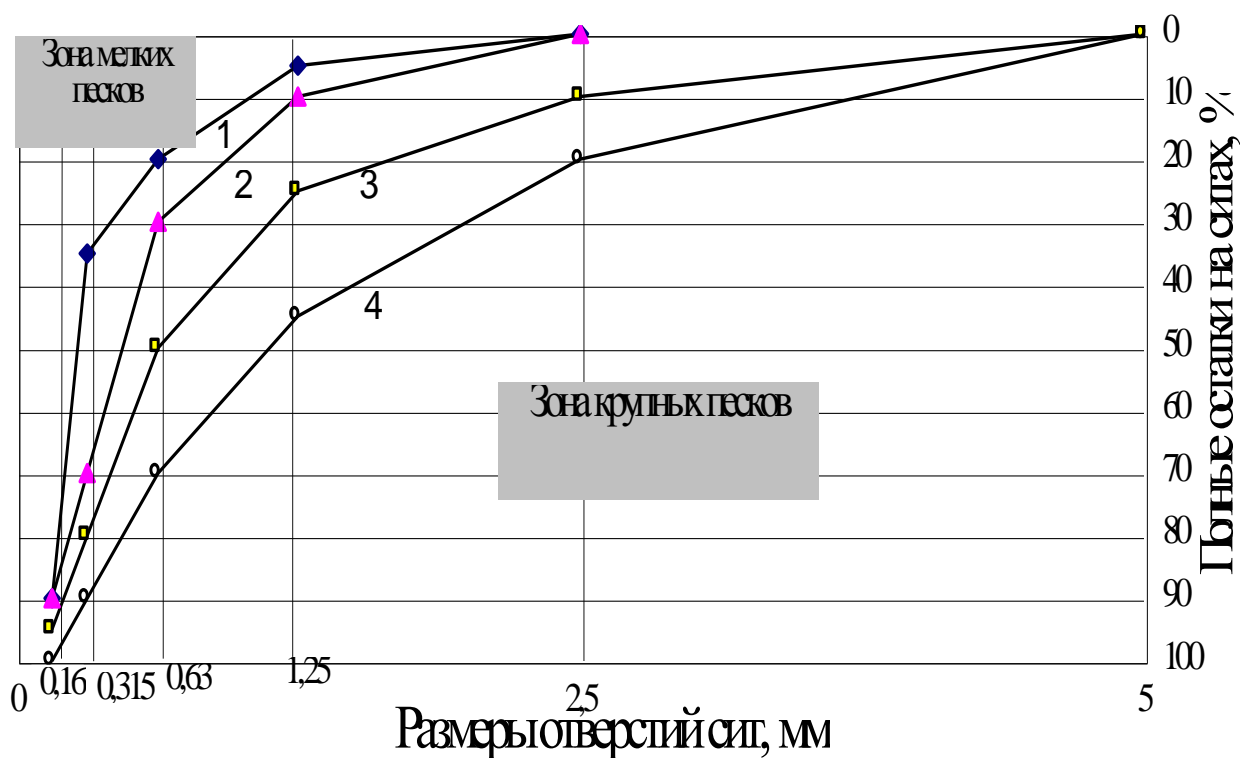


Рис. 20. График зернового состава песка

1 – нижняя граница крупности песка ( $M_k = 1,5$ ); 2 – нижняя граница крупности песка ( $M_k = 2,0$ ) для бетонов класса В15 и выше; 3 – нижняя граница крупности песка ( $M_k = 2,5$ ) для бетона класса В25 и выше; 4 – верхняя граница крупности песков ( $M_k = 3,25$ ).

Местонахождение кривой просеивания относительно кривых 1,2,3,4 определяет применение песка в тяжелых и мелкозернистых бетонах.

При несоответствии зернового состава требованиям графика (выхода одной или нескольких точек кривой просеивания за пределы рекомендуемой зоны) следует применять укрупняющую добавку к мелким пескам – крупный песок, а к крупному песку – добавку, понижающую модуль крупности, – мелкий песок.

Группа зернового состава песка и область его применения устанавливается с помощью табл. 28.

Таблица 28

Группы песка и их применение

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите № 063, %	Область применения
Очень крупный	$> 3,5$	$> 75$	Для дорожных покрытий
Повышенной крупности	$3,0 \dots 3,5$	$65 \dots 75$	Для бетонов и дорожных покрытий
Крупный	$2,5 \dots 3,0$	$45 \dots 65$	Для бетонов, растворов, дорожных покрытий
Средний	$2,0 \dots 2,5$	$30 \dots 45$	То же
Мелкий	$1,5 \dots 2,0$	$15 \dots 30$	То же
Очень мелкий	$1,0 \dots 1,5$	$10 \dots 30$	То же
Тонкий	$0,7 \dots 1,0$	$< 10$	Для растворов
Очень тонкий	$< 0,7$	нет нормы	-

С помощью табл. 29 устанавливается класс песка.

Содержание зерен крупностью свыше 5, 10 мм и менее 0,16 мм не должно превышать значений, указанных в табл.29.

Таблица 29

Характеристики классов песка по содержанию крупных и мелких зерен

Класс и группа песка	Содержание зерен крупностью, % по массе		
	Свыше 10 мм	Свыше 5 мм	Менее 0,16 мм
<b>I класс</b>			
Повышенной крупности, крупный и средний	0,5	5	5
Мелкий	0,5	5	10
<b>II класс</b>			
Очень крупный и повышенной крупности	5	20	0
Крупный и средний	5	10	15
Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20
Тонкий и очень тонкий	Не допускается	Не допускается	Не нормируется

В качестве мелкого заполнителя для бетонов, в основном, используются пески с  $M_k = 1,5 \dots 3,25$ . Для строительных растворов лучшими считают пески с  $M_k < 2,2$  (для штукатурных растворов  $M_k = 1 \dots 2$ ). В штукатурных растворах для обрызга и грунта следует применять песок с размером зерен не более 2,5 мм, а для отделочного слоя – не более 1,25 мм.

### 6.3.7. Определение влажности

Влажность определяется путем сравнения массы песка в состоянии естественной влажности и после высушивания.

Навеску массой 1000 г песка насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С.

Влажность песка ( $W$ ) %, вычисляют по формуле

$$W = \frac{(m - m_1)}{m_1} \cdot 100\%, \quad (52)$$

где  $m$  – масса навески в состоянии естественной влажности, г  
 $m_1$  – масса навески в сухом состоянии, г.

**Приборы, инструменты, материалы:** весы по ГОСТ 23711-79 или ГОСТ 24104-80; набор сит по ГОСТ 6613-86; шкаф сушильный; цилиндр стеклянный на 250 мл; колориметрическая проба; пикнометр по ГОСТ 22524-77; мерная емкость размером 1 л; сито с круглыми отверстиями 5 мм; вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72; плакат с графиком рассева песка.

### ***Аттестационные вопросы***

1. Что представляет собой песок?
2. Какие функции выполняет песок в бетонах и растворах?
3. Как определяют плотность песка с помощью пикнометра?
4. В чем заключается методика определения насыпной плотности песка в неуплотненном состоянии?
5. Изложите последовательность определения зернового состава песка для строительных работ?
6. Как рассчитывается модуль крупности песка?
7. Изложите методику определения плотности песка.
8. Как делят пески по модулю крупности?
9. Опишите порядок определения степени загрязненности песка глинистыми, пылевидными, и органическими примесями.
10. Как определяется влажность песка?

***Литература:*** [ 1, 2, 3, 6, 12 ].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТА

#### 7.1. Общие сведения

Цемент - это название группы гидравлических вяжущих веществ, главной составной частью которых являются силикаты и алюминаты кальция.

В настоящее время наиболее широко применяются в строительстве цементы на основе портландцементного клинкера: портландцемент без добавок, портландцемент с минеральными добавками, быстротвердеющий портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и глиноземистый цемент.

Для проведения испытания цемент доставляют в лабораторию в герметичной таре и хранят в сухом месте.

При испытании цемента в определяют его истинную плотность, тонкость помола, нормальную густоту, сроки схватывания цементного теста, равномерность изменения объема цемента, марку цемента и его вид. Технические требования к цементам различных видов представлены в табл. 30.

Таблица 30

Технические требования к качеству цементов различных видов

Вид цемента	Тонкость помола по остатку на сите № 008	Сроки схватывания		Предел прочности, МПа, через сут. не менее				Марка цемента
		начало	конец	при сжатии		при изгибе		
				3	28	3	28	
Портландцемент и портландцемент с минеральными добавками	Не более 15 %	Не ранее 45 мин	Не позднее 10ч	-	40	-	5,5	400
				-	50	-	6,0	500
				-	55	-	6,2	550
				-	60	-	6,5	600
Шлакопортландцемент	-  -	-  -	-  -	-	30	-	4,5	300
				-	40	-	5,5	400
				-	50	-	6,0	500
Портландцемент быстротвердеющий	-  -	-  -	-  -	25	40	4	5,5	400
				28	50	4,5	6,0	500
Шлакопортландцемент быстротвердеющий	Не более 12 %	-  -	-  -	20	40	3,5	5,5	400
Пуццолановый портландцемент	Не более 15 %	-  -	-  -		30		4,5	300
					40		5,5	400
Сульфатостойкий портландцемент	-  -	-  -	-  -		40		5,5	400

## 7.2. Цель работы

Изучение основных требований к цементам, методов оценки их качественных показателей, определение марки цемента и его вида.

## 7.3. Порядок выполнения работы

### 7.3.1. Определение истинной плотности цемента

Истинную плотность цемента определяют с помощью пикнометра или прибора Ле-Шателье (см. лабораторная работа № 1, п. 1.3.1.). В качестве инертной жидкости следует использовать керосин.

*Истинная плотность портландцемента (без минеральных добавок) составляет 3,05...3,15 г/см<sup>3</sup>.*

### 7.3.2. Определение тонкости помола цемента

От средней пробы цемента отвешивают 50 г и высыпают его на сито с сеткой № 008. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического просеивания. Через 5...7 мин просеивания прибор останавливают, снимают доньшко и высыпают из него прошедший через сито цемент. Затем прочищают сетку с нижней стороны мягкой кистью, вставляют доньшко и продолжают просеивание. Опыт считается законченным, если при контрольном просеивании сквозь сито проходит не более 0,05 г цемента. Контрольное просеивание производят вручную при снятом доньшке в течение одной минуты. Тонкость помола цемента определяют как остаток на сите в процентах к первоначальной массе пробы с точностью до 0,1 %. Допускается проведение опыта ручным просеиванием.

Результаты эксперимента заносят в табл. 31.

Таблица 31

Тонкость помола цемента

Номер опыта	Масса навески, г	Масса остатка, г	Остаток на сите, %
-------------	------------------	------------------	--------------------

*Показатель тонкости помола цемента сравнивают с данными табл. 30. Тонкость помола цемента оказывает существенное влияние на его активность, марку, скорость твердения. Измельчение цемента до 1...3 мкм снижает прочностные показатели затвердевшего цемента. Цементный порошок в основном состоит из частиц размером 5...40 мкм.*



### 7.3.3. Определение нормальной густоты цементного теста

Нормальную густоту цементного теста характеризуют количеством воды затворения, выраженной в процентах от массы цемента. Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика (рис. 21), погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит 5...7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

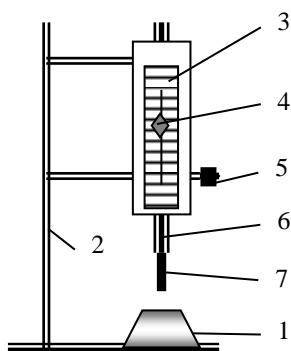


Рис. 21. Определение нормальной густоты цементного теста:

- 1 – кольцо с тестом;
- 2 – штатив; 3 – шкала;
- 4 – стрелка;
- 5 – стопорный винт;
- 6 – стержень; 7 – пестик.

Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Отвешивают 400 г цемента, высыпают его в чашку, предварительно протертую влажной тканью. Делают в цементе углубление и вливают туда воду в количестве, соответствующем В/Ц=0,23...0,28. Затем энергично перемешивают тесто лопаткой в течение 5 мин с момента приливания воды. После перемешивания кольцо прибора Вика наполняют в один прием цементным тестом и 5...6 раз встряхивают, постукивая пластинку о твердое основание. Поверхность теста выравнивают вровень с краями кольца, срезая избыток теста ножом. Пестик прибора приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным устройством. Затем быстро освобождают его, представляя пестик под нагрузкой 300 г свободно погружаться в тесто. Через 30 с производят отсчет глубины погружения его по шкале. Если погружение пестика больше или меньше 5...7 мм, то опыт повторяют, изменяя количество воды затворения. Количество добавленной воды для получения теста нормальной густоты определяют с точностью до 0,25 %.

Результаты эксперимента заносят в табл. 32.

Таблица 32

Результаты определения нормальной густоты цементного теста

Номер опыта	Масса цемента, г	Масса воды, г	В/Ц	Глубина погружения пестика, мм	Нормальная густота, %

Величина нормальной густоты в первую очередь зависит от вида цемента, тонкости его помола, количества введенной в цемент добавки, минерального состава цемента. Регулировать нормальную густоту можно добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ).

### 7.3.4. Определение сроков схватывания цементного теста

Определение производят с помощью прибора Вика (рис. 22).

Приготовление теста нормальной густоты производят так же, как и при непосредственном его определении. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного

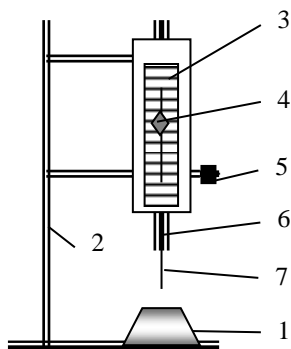


Рис. 22. Определение сроков схватывания цементного теста:

- 1 – кольцо с тестом;
- 2 – штатив; 3 – шкала;
- 4 – стрелка;
- 5 – стопорный винт;
- 6 – стержень; 7 – игла.

теста нормальной густоты, уложенного в кольцо. Стержень закрепляют стопором, затем его освобождают, давая свободно погружаться в тесто. Масса стержня с иглой составляет 300 г. Иглу погружают в тесто каждые 5 мин до начала схватывания и через каждые 25 мин в последующем. Перед каждым погружением пере-

двигают кольцо и протирают иглу.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала приливания воды до момента, когда игла не доходит до пластинки на 1...2 мм. Концом схватывания считают время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

*Для большинства цементов на основе портландцементного клинкера (кроме быстротвердеющего) начало схватывания наступает не ранее чем через 45 мин, а конец схватывания - не позднее 10 ч.*

### 7.3.5. Определение равномерности изменения объема цемента

Для испытания предварительно готовят тесто нормальной густоты, из которого отбирают две навески массой 75 г каждая. Делают вручную два шарика

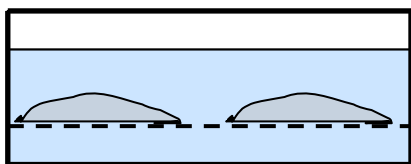


Рис. 23. Определение равномерности изменения объема цемента

и помещают их на стеклянную пластинку, предварительно смазанную машинным маслом. Пластинкой постукивают о твердое основание до образования из шариков лепешек диаметром 7...8 см и толщиной посередине около 1 см. Лепешки заглаживают смоченным водой ножом от наружных краев к центру до образования острых краев и гладкой закругленной поверхности.

Приготовленные лепешки хранят 24 ч с момента изготовления в ванне с гидравлическим затвором, а затем подвергают кипячению. Для этого лепешки помещают в бачок с водой на решетку (рис. 23). Воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 3 ч, после чего лепешки в воде охлаждают и сразу производят их внешний осмотр.

Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешки не обнаружено радиальных, не доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешек. Искривления обнаруживают при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки. При этом обнаруженные искривления не должны превышать 2 мм на краю или в середине лепешки. Допускается в первые сутки после испытаний появление трещин усыхания, не доходящих до краев лепешки, при условии сохранения звонкого звука при постукивании лепешек одна о другую.

*Неравномерность изменения объема цемента вызывается присутствием в нем свободных  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в количестве, превышающем 1,5...2 % в клинкере, а также присутствием в клинкере медленно гасящейся части - периклаза. Это приводит к увеличению объема уже затвердевшего цементного камня, неравномерности деформаций и образованию трещин в твердеющих растворах и бетонах.*

### 7.3.6. Определение марки цемента

Марка цемента – величина, устанавливаемая по пределу прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек размером 4×4×16 см, изготовленных из цементно-песчаного раствора по специальному рецепту. Марка цемента зависит от минералогического состава клинкера, тонкости его помола.

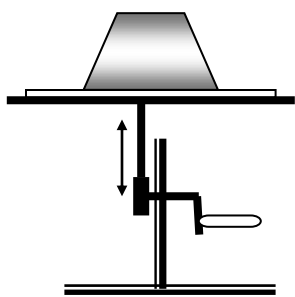


Рис. 24. Определение консистенции растворной смеси

Для проведения испытания отвешивают 500 г цемента и 1500 г вольского кварцевого песка (песка определенного зернового состава). Материалы высыпают в сферическую чашу и перемешивают круглой лопаткой в течение 1 мин. Затем в центр смеси выливают 200 мл воды из расчета  $\text{В/Ц} = 0,4$ . После впитывания воды смесь перемешивают 1 мин. Дальнейшее перемешивание смеси производят в лабораторной мешалке в течение 2,5 мин. Готовую смесь укладывают в сферическую чашу, после чего определяют ее консистенцию на встряхивающем столике (рис. 24). Для этого форму-конус на половину высоты заполняют раствором и уплотняют 15 штыкованиями металлической штыковкой. Далее конус заполняют с некоторым избытком и штыкуют еще 10 раз. Поверхность раствора выравнивают вровень с краями конуса металлической линейкой, после чего форму-конус поднимают вертикально вверх. Оставшийся растворный конус встряхивают 30 раз в течение 30 с. Диаметр основания растворного конуса после встряхивания измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют среднее значе-

ние. Если расплыв конуса находится в пределах 106...115 мм, то раствор имеет нормальную консистенцию. Если расплыв конуса менее 106 мм, количество воды увеличивают для получения расплыва 106-108 мм. При расплыве конуса больше 115 мм количество воды уменьшают для получения расплыва 113...115 мм.

Из раствора нормальной консистенции изготавливают три образца-балочки размером 4×4×16 см. Перед укладкой раствора форму с насадкой закрепляют в центре лабораторной виброплощадки (рис. 25). Форму по высоте наполняют приблизительно на 1 см раствором и включают виброплощадку. В течение первых 2 мин вибрации все три гнезда равномерно заполняют раствором. После 3-х мин вибрации отключают виброплощадку, снимают насадку, удаляют излишки раствора, заглаживают поверхность образцов и маркируют их.

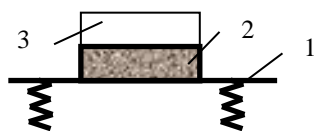


Рис. 25.

Виброуплотнение образцов:

- 1 – виброплощадка;
- 2 – форма со смесью;
- 3 – насадка

Затем форму с образцами помещают в ванну с гидравлическим затвором, обеспечивающую нормальные условия хранения (температура воздуха  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ , влажность воздуха  $\phi = 95 \dots 100 \%$ ). Через 24 ч образцы распалубливают и помещают в ванну с питьевой водой ( $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ), где они находятся еще 27 сут.

В возрасте 28 сут с момента изготовления образцы вынимают из воды и подвергают испытанию на изгиб и сжатие.

Предел прочности при изгибе определяют на приборе МИИ-100. Причем из 3-х результатов испытаний наименьшее значение отбрасывают и вычисляют среднее арифметическое значение по 2-м оставшимся. Затем на гидравлическом прессе испытывают на сжатие 6 половинок-балочек (рис. 26). Испытание проводят с помощью 2-х металлических пластинок, обеспечивающих опорную площадь 25 см<sup>2</sup>. Для каждого образца вычисляют предел прочности при сжатии по формуле:

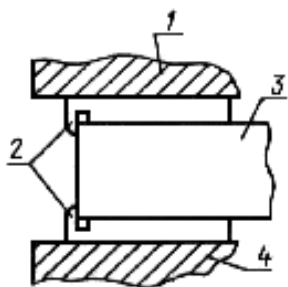


Рис. 26. Схема

испытания на сжатие:

- 1 – верхняя плита прессы;
- 2 – пластинки;
- 3 – половинка образца;
- 4 – нижняя плита прессы

где  $P$  - разрушающая сила, Н (кгс);  
 $F$  - площадь стальной пластинки, (25 см<sup>2</sup>).

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \text{ МПа}, \quad (53)$$

где  $P$  - разрушающая сила, Н (кгс);

$F$  - площадь стальной пластинки, (25 см<sup>2</sup>).

Среднее арифметическое значение предела прочности при сжатии вычисляют по 4-м наибольшим показателям из 6-ти.

Результаты испытаний заносят в табл. 33

## Результаты механических испытаний

Вид испытания						
Растяжение при изгибе			Сжатие			
Номер образца	Предел прочности при изгибе		Номер образца	Разрушающая сила, Н (кгс);	Предел прочности при сжатии	
	Отдельного образца, МПа	Среднее значение			Отдельного образца, МПа	Среднее значение

Затем с помощью табл. 30 устанавливают марку цемента.

**7.3.7. Определение вида цемента**

Определение вида цемента производят по следующим признакам: цвету, нормальной густоте, истинной и насыпной плотности, запаху при смешивании с водой, химическому составу и другим признакам.

Основные признаки для определения вида цемента представлены в табл. 34.

Таблица 34

## Основные характеристики цементов различных видов

Вид цемента	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность в рыхлом состоянии, г/см <sup>3</sup>	Нормальная густота цементного теста, %	Цвет
Портландцемент	3,0...3,2	0,9...1,3	22...28	Серо-зеленый
Портландцемент с минеральными добавками	3,0...3,1	1,0...1,2	23...27	То же
Пуццолановый портландцемент	2,7...2,9	0,9...1,0	32...36	Светло-серый, желтоватый, без запаха
Шлакопортландцемент	2,8...3,0	1,0...1,3	28...30	Сероватый с голубым оттенком, запах сероводорода
Алюминатовый	2,6...3,0	0,8...1,0	22...28	Темно-серый, коричневый
Глиноземистый	3,1...3,3	1,0...1,3	31...33	Серый или коричневый, без запаха
Известково-пуццолановый	2,2...2,8	0,6...0,8	30...60	Светло-серый

**Приборы, инструменты, материалы:** объеммер по ГОСТ 310.2; пикнометр по ГОСТ 6427; стеклянный сосуд по ГОСТ 310.2; термометр ртутный с диапазоном измерений температур 10-30°C; штатив; воронка; весы технические по ГОСТ 16474; разновесы; сито с сеткой № 008 по ГОСТ 3584; прибор для просеивания цемента; весы торговые по ГОСТ 16474; прибор Вика с иглой и пестиком по ГОСТ 310.3; кольцо к прибору Вика; мешалка для приготовления цементного теста по ГОСТ 310.3; металлическая чашка со сферическим дном по ГОСТ 310.3; секундомер; нож; ванна с гидравлическим затвором; мешалка бегунковая по ГОСТ 310.4; встряхивающий столик по ГОСТ 310.4; формаконус по ГОСТ 31074; штыковка; формы для приготовления образцов-балочек по ГОСТ 310-4; вибрационная лабораторная площадка по ГОСТ 310.4; прибор МИИ-100; гидравлический пресс по ГОСТ 8905; пластинки для передачи нагрузки; обезвоженный керосин; пробы цемента; дистиллированная вода; песок кварцевый, нормальный по ГОСТ 6139; штангенциркуль по ГОСТ 166.

### ***Аттестационные вопросы***

1. Что представляет собой цемент?
2. Какие виды цементов наиболее широко применяются в строительстве?
  1. Какие свойства цемента определяют при его испытании ?
  2. Как определяют истинную плотность цемента?
  3. Как определяют тонкость помола цемента и на какие его свойства она оказывает влияние?
  4. Что такое нормальная густота цементного теста и как ее определяют?
  5. Как определяются сроки схватывания цементного теста?
  6. Что такое равномерность изменения объема цемента, от чего она зависит и как производят ее определение?
  7. Какова методика определения марки цемента?
  8. По каким показателям определяют вид цемента?

***Литература:*** [ 1, 2, 3, 6, 12 ].

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ВЯЗКОГО НЕФТЯНОГО БИТУМА

### 8.1. Общие сведения

Битумы представляют собой сложные смеси углеводородов и их неметаллических производных с кислородом, азотом, серой. Битумы бывают природными и естественными. Нефтяные битумы - продукты переработки нефти и ее смолистых производных. По консистенции битумы бывают вязкими и жидкими. По назначению нефтяные битумы подразделяются на строительные, кровельные и дорожные. Дорожные битумы используются при изготовлении дорожных и аэродромных покрытий; кровельные - для кровельных рулонных и гидроизоляционных материалов; строительные - для приклеивающих и изоляционных мастик, асфальтовых бетонов и растворов, применяющихся для устройства полов в промышленных цехах и складских помещениях, плоской кровли, стяжек.

Физико-механические свойства нефтяных битумов приведены в табл. 35.  
Таблица 35

Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Температура размягчения, °С, не ниже	Растяжимость при 25°С, см не менее	Глубина проникания иглы при 25°С
<b><u>Строительные битумы</u></b>			
БН 50/50	50...60	40	41...60
БН 70/30	70...80	3	21...40
БН 90/10	90...105	1	5...20
<b><u>Кровельные битумы</u></b>			
БНК 45/180	40...50	не нормируется	140...220
БНК 45/190	40...50	то же	160...220
БНК 90/40	85...95	то же	35...45
БНК 90/30	85...95	то же	25...35
<b><u>Дорожные битумы</u></b>			
БНД 200/300	35	-	201...300
БНД 130/200	40	70	131...200
БНД 90/130	43	65	91...130
БНД 60/90	47	55	61...90
БНД 40/60	51	45	40...60
БН 200/300	33	-	201...300
БН 130/200	38	80	131...200
БН 90/130	41	80	91...130
БН 60/90	45	70	61...90

Вязкие битумы подразделяются на марки. Марку битума оценивают по: глубине проникания иглы при температуре + 25 °С или 0 °С, температуре размягчения, растяжимости, температуре хрупкости и температуре вспышки.

Марку вязкого битума обозначают БНД, БНК или БН с указанием индекса. Для дорожного битума, цифры индекса показывают интервал изменения глубины проникания иглы, а для кровельного и строительного битумов первая цифра индекса (числитель) указывает среднее значение температуры размягчения, а вторая (знаменатель) – среднее значение глубины проникания иглы.

## 8.2. Цель работы

Ознакомиться с методиками оценки основных качественных показателей вязкого нефтяного битума.

## 8.3. Порядок выполнения работы

### 8.3.1. Определение глубины проникания иглы

*Показатель глубины проникания иглы является характеристикой условной вязкости битума. Этот показатель является основным при разделении битумов на марки. Чем меньше глубина проникания иглы, тем больше прочность битума.*

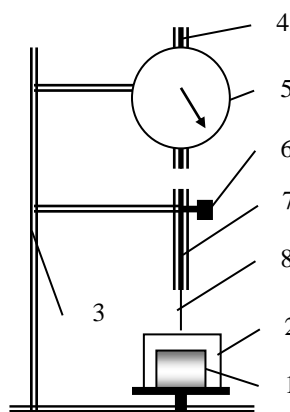


Рис. 27. Определение глубины проникания

иглы:

- 1 – чашка с битумом;
- 2 – кристаллизатор;
- 3 – штатив;
- 4 – кремальера;
- 5 – лимб со стрелкой;
- 6 – стопорная кнопка;
- 7 – стержень;
- 8 – игла ( $d=1\text{мм}$ )

Глубина проникания иглы определяется на приборе пенетрометре (рис. 27) путем измерения глубины погружения иглы прибора в образец битума под нагрузкой 100 гс в течение 5 с при температуре  $+25^\circ\text{C}$  или в течение 60 с при температуре  $0^\circ\text{C}$ .

Предварительно обезвоженный и расплавленный битум заливают в металлическую чашку. Чашку с битумом охлаждают на воздухе при температуре  $25\pm 5^\circ\text{C}$ . Затем чашку помещают в воду с температурой  $+25^\circ\text{C}$  и выдерживают перед испытанием 60...75 мин.

В момент испытания чашку с битумом помещают в кристаллизатор, наполненный водой той же температуры. Иглу пенетрометра приводят в соприкосновение с поверхностью битума. После этого снимают начальный показатель по лимбу прибора, включают секундомер и одновременно нажимают стопорную кнопку пенетрометра, давая игле свободно входить в образец в течение 5 с. Затем кнопку отпускают, опускают кремальеру прибора и снимают отсчет по лимбу. Разность второго и первого показателей дает величину глубины проникания. Определение повторяют не менее трех раз в местах, отстоящих друг



от друга на 10 мм. Кончик иглы после каждого определения отмывают от битума бензином и насухо протирают тканью.

За глубину проникания принимают среднее арифметическое из трех результатов определений.

Результаты записывают в виде табл. 36.

Таблица 36

Результаты определения глубины проникания иглы (пенетрации)

Номер опыта	Начальный показатель по лимбу $n_1$ , градусы шкалы	Конечный показатель по лимбу, $n_2$ , градусы шкалы	Показатель пенетрации опыта, $(n_2 - n_1)$ , градусы шкалы	Средний показатель пенетрации, градусы шкалы

### 8.3.2. Определение температуры размягчения битума

Температура размягчения битума является условной характеристикой перехода битума из полутвердого в текучее состояние. Чем выше температура размягчения, тем больше прочность пленки битума.

Для определения температуры размягчения используют прибор "кольцо - шар" (рис. 28).



Рис. 28. Определение температуры размягчения битума:  
 1 – кольцо с битумом;  
 2 – стальной шарик;  
 3 – термометр;  
 4 – контрольный диск;  
 5 – стакан с водой;  
 6 – электроплита

Предварительно расплавленный битум заливают с некоторым избытком в два латунных кольца с внутренним диаметром 17,7 мм. После охлаждения избыток битума срезают нагретым ножом вровень с краями колец. Кольца с битумом устанавливают в отверстия среднего диска прибора, помещают прибор в химический стакан, наполненный во-

дой. На каждое кольцо пинцетом устанавливается стальной шарик (диаметром 9,5 мм, массой 3,5 г). Если температура размягчения 80...110 °С, то стакан заполняют смесью воды и глицерина, если более 110 °С - то глицерином.

Жидкость в стакане подогревают на электроплитке так, чтобы скорость подъема температуры составляла 5 °С в минуту. Температура, при которой битум под действием шарика коснется нижнего контрольного диска подставки прибора, соответствует температуре размягчения битума.

За показатель температуры размягчения принимают среднее арифметическое по результатам 2-х определений.

### 8.3.3. Определение растяжимости битума

Показателем растяжимости является абсолютное удлинение стандартного образца "восьмерки" (рис. 29, а) до момента его разрыва. Для определения растяжимости применяют прибор дуктилометр (рис. 29, б).

Расплавленный и обезвоженный битум наливают в три предварительно смазанные техническим вазелином формы – "восьмерки". Охлаждают битум в формах 30...40 мин до окружающей температуры не ниже +18 °С. После этого излишек битума срезают нагретым ножом вровень с краями форм. Образцы помещают затем в ванну дуктилометра с водой, имеющей температуру 25 °С. Высота воды над слоем битума должна составлять 25 мм. Через час выдержки в воде образцы устанавливают в проушины дуктилометра, включают двигатель дуктилометра и производят растяжение битума со скоростью 5 см/мин. Образцы растягивают до наступления разрыва битума. В момент разрыва снимают отсчет по линейке в сантиметрах. Показатель растяжимости определяют как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов "восьмерок".

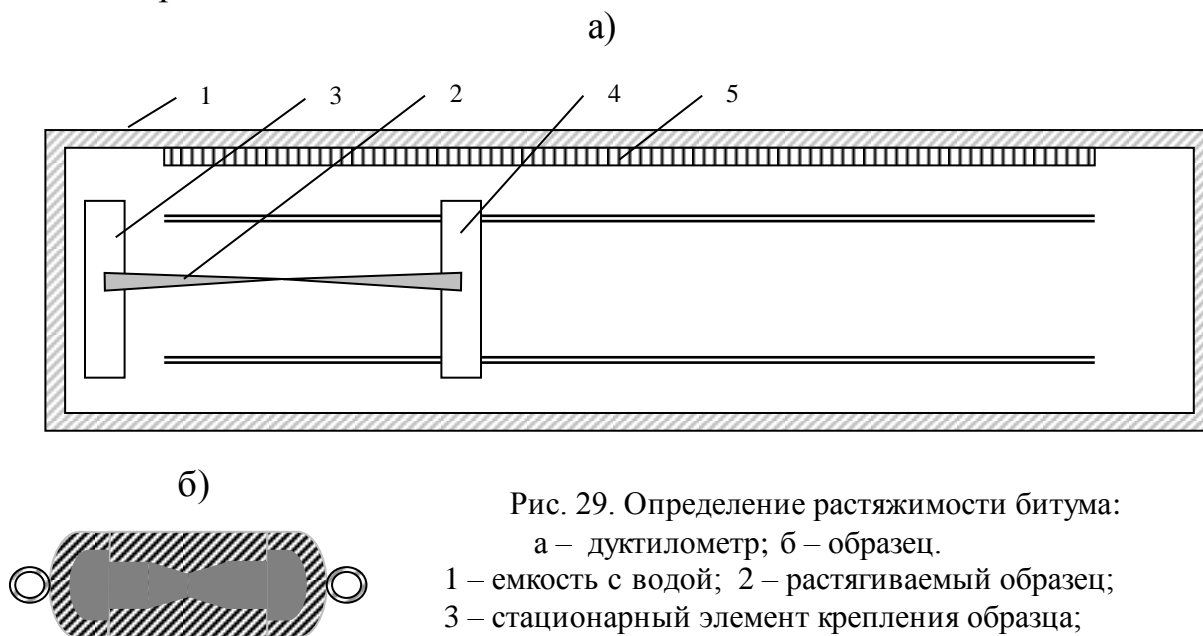


Рис. 29. Определение растяжимости битума:

а – дуктилометр; б – образец.

1 – емкость с водой; 2 – растягиваемый образец;

3 – стационарный элемент крепления образца;

4 – «салазки»; 5 – линейка

*Показатель растяжимости битума влияет на устойчивость битума к старению и его когезионную прочность.*

**Приборы, инструменты, материалы:** представительная проба не-тяного вязкого битума, ручной пенетрометр, металлическая чашка цилиндрической формы для заливки обезвоженного и расплавленного битума, секундомер, прибор "Кольцо и шар", два латунных кольца, спиртовой термометр на 100 °С, электроплитка с закрытой спиралью, дуктилометр, три латунные формы-"восьмерки", две металлические пластинки.

### ***Аттестационные вопросы***

1. Что представляют собой битумы?
2. Как подразделяются битумы по назначению?
3. По каким показателям определяют марку битума в производственных условиях?
4. Для каких целей используют битум в строительстве?
5. Опишите методику определения глубины проникания иглы (пенетрации) при определении условной вязкости битума.
6. Как определяется температура размягчения битума на приборе "кольцо - шар"?
7. Что является показателем растяжимости битума и его определение?

***Литература:*** [ 1, 2, 3, 6, 12 ].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### ПОДБОР СОСТАВА СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

#### *9.1. Общие сведения*

Строительным раствором называют искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего вещества, мелкого заполнителя, воды и в необходимых случаях различных добавок (минеральных, поверхностно-активных, химических и др.).

Смесь этих материалов до затвердевания называют растворной смесью.

Строительные растворы применяются в кладочных, отделочных и специальных работах, при возведении крупнопанельных зданий и сооружений.

По виду вяжущего растворы разделяются на простые, изготавливаемые на одном вяжущем (цементные, известковые, гипсовые), и сложные, изготавливаемые на смешанных вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

Основными показателями качества растворной смеси являются подвижность, водоудерживающая способность и расслаиваемость.

Подвижность — это способность растворной смеси растекаться под действием сил собственного веса или приложенных внешних сил.

Основными свойствами затвердевшего раствора являются прочность на сжатие, морозостойкость, средняя плотность.

По пределу прочности на сжатие растворы разделяются на марки: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

По средней плотности строительные растворы разделяются на тяжелые, средней плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup> и более, и легкие - средней плотностью менее 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Морозостойкость растворов характеризуется следующими марками: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

Подбор состава раствора производят с учетом его назначения, марки, условий эксплуатации, а также подвижности растворной смеси, выбираемой в зависимости от назначения раствора и условий его укладки.

Подбор состава строительного раствора включает 5 этапов. На первом этапе устанавливается назначение раствора, на втором — осуществляется выбор сырьевых компонентов, на третьем — делается расчет ориентировочного состава, на четвертом — подбирается нужная подвижность смеси и на пятом — достигается требуемая марка раствора.

#### *9.2. Цель работы*

Ознакомиться с методикой подбора состава сложного строительного раствора, оценкой некоторых качественных показателей растворной смеси и раствора.

### 9.3. Порядок выполнения работы

#### 9.3.1. Назначение раствора

В зависимости от назначения раствора устанавливаются его марка и подвижность растворной смеси (табл. 37, 38).

Таблица 37

Марка строительного раствора в зависимости от назначения

№	Область применения раствора	Марка
1	Кладка стен зданий (в зависимости от их этажности и влажности воздуха в помещениях)	4-150
2	Кладка столбов, простенков, рядовых перемычек, карнизов	25-150
3	Заполнение горизонтальных швов при монтаже стен из легких бетонных панелей, не ниже	50

Таблица 38

Подвижность растворной смеси на месте применения в зависимости от назначения раствора

Основное назначение раствора	Глубина погружения конуса, см	Марка по подвижности П <sub>к</sub>
<b>А Кладочные:</b>		
- для бутовой кладки: вибрированной невибрированной	1-3 4-6	П <sub>к1</sub> П <sub>к2</sub>
- для кладки из пустотелого кирпича или керамических камней	7-8	П <sub>к2</sub>
- для кладки из полнотелого кирпича; керамических камней; бетонных камней или камней из легких пород	8-12	П <sub>к3</sub>
- для заливки пустот в кладке и подачи растворонасосом	13- 14	П <sub>к4</sub>
- для устройства постели при монтаже стен из крупных бетонных блоков и панелей; расшивок горизонтальных и вертикальных швов в стенах из панелей и крупных бетонных блоков	5-7	П <sub>к2</sub>
<b>Б Облицовочные:</b>		
- для крепления плит из природного камня и керамической плитки по готовой кирпичной стене	6-8	П <sub>к2</sub>
- для крепления облицовочных изделий легкобетонных панелей и блоков в заводских условиях		
<b>В Штукатурные:</b>		
- раствор для грунта	7-8	П <sub>к2</sub>
раствор для набрызга:		
- при ручном нанесении	8-12	П <sub>к3</sub>
- при механизированном способе нанесения	9-14	П <sub>к4</sub>
раствор для накрывки:		
- без применения гипса	7-8	П <sub>к2</sub>
- с применением гипса	9-12	П <sub>к3</sub>

### 9.3.2. Выбор сырьевых материалов

Выбор вяжущих материалов при приготовлении растворов следует производить с учетом назначения и марки раствора, а также условий эксплуатации конструкции (табл. 39).

Таблица 39

#### Рекомендации к выбору вяжущих при приготовлении растворов

Рекомендуется к применению	Допускается к применению
<b>1. Для наземных конструкций при относительной влажности воздуха помещений до 60 % и для фундаментов, возводимых в маловлажных грунтах</b>	
<b>Марка раствора 25 и выше</b>	
Портландцемент	Пуццолановый портландцемент
Пластифицированный и гидрофобный портландцемент	Цемент для строительных растворов
Шлакопортландцемент	Известково-шлаковые вяжущие
<u>Марка раствора 10</u>	
Известь гидравлическая	Известково-пуццолановые и известково-золевые вяжущие
Известково-шлаковые вяжущие	
Цемент для строительных растворов	
<b>II. Для наземных конструкций при относительной влажности воздуха помещений свыше 60 % и для фундаментов, возводимых во влажных грунтах</b>	
<b>Марка раствора 25 и выше</b>	
Портландцемент	Цемент для строительных растворов
Пластифицированный и гидрофобный портландцемент	Известково-шлаковые вяжущие
Шлакопортландцемент	
Пуццолановый портландцемент	
<b>Марка раствора 10 и выше</b>	
Цемент для строительных растворов	Известково-пуццолановые и известково-золевые вяжущие
Известково-шлаковые вяжущие	Известь гидравлическая
<b>III. Для фундаментов при агрессивных сульфатных водах (независимо от марки раствора)</b>	
Сульфатостойкий портландцемент	Пуццолановый портландцемент
<b>IV. Для монтажа крупноблочных и крупнопанельных бетонных и каменных стен</b>	
<b>Марка раствора 25 и выше</b>	
Портландцемент	Шлакопортландцемент
Пластифицированный и гидрофобный портландцемент	Пуццолановый портландцемент

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> песка в растворах на цементном и цементосодержащих вяжущих должен быть не менее 100 кг, а для кладочных растворов в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации — не менее указанного в табл. 40

Таблица 40

Минимальный расход цемента

При сухом и нормальном режимах помещения	100
При влажном режиме помещения	125
При мокром режиме помещения	175

Для улучшения свойств растворной смеси в нее вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки. Из неорганических добавок наибольшее применение имеют известь, глина, зола ТЭЦ, молотый доменный шлак. К числу наиболее распространенных органических пластификаторов относят мылонафт, СДБ.

Качество применяемого песка должно удовлетворять требованиям ГОСТ. В качестве заполнителя следует применять: песок для строительных работ; зола-уноса; золошлаковый песок; пористые пески; пески из шлаков тепловых электростанций, черной и цветной металлургии

*Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть, мм, не более:*

- кладочные (кроме бутовой кладки) ..... 2,5
- бутовая кладка..... 5,0
- штукатурные (кроме накрывочного слоя) ..... 2,5
- штукатурные накрывочного слоя..... 1,25
- отделочные..... 1,25

**9.3.3. Расчет ориентировочного состава**

*Расчет состава строительного раствора производится на 1 м<sup>3</sup> песка в рыхло-насыпном состоянии.*

**Порядок расчета:**

1. Определяют расход песка ( $\Pi$ ), кг, по формуле

$$\Pi = V_n \cdot \rho_{\text{нп}}, \tag{54}$$

где  $V_n$  — объем песка, м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{нп}}$  — насыпная плотность песка, кг/ м<sup>3</sup>.

2. Определяют расход цемента ( $\mathcal{C}$ ), кг, на 1 м<sup>3</sup> песка по формуле

$$Ц = \frac{R_p}{\kappa \cdot R_u} \cdot 100, \quad (55)$$

где  $R_p$  – заданная марка раствора, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

$R_u$  – активность или марка цемента, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

$\kappa$  – коэффициент; для портландцемента – 1, для пуццоланового и шлакопортландцемента – 0,88.

Расход цемента по объему ( $V_u$ ), м<sup>3</sup>, определяют по формуле

$$V_u = \frac{Ц}{\rho_{нц}}, \quad (56)$$

где  $\rho_{нц}$  – насыпная плотность цемента, кг/м<sup>3</sup>.

3. Расход неорганического пластификатора (известкового, глиняного или трепельного теста) по объему ( $V_d$ ), м<sup>3</sup> определяется по формуле:

$$V_d = 0,17(1 - 0,002Ц), \quad (57)$$

где  $Ц$  – расход цемента, кг.

Пересчитывают расход добавки по массе:

$$Д = V_d \cdot \rho_d, \quad \text{кг}, \quad (58)$$

где  $\rho_d$  – плотность добавки, кг/м<sup>3</sup>.

Рекомендуется известковую добавку вводить в виде теста плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>. Глиняную добавку вводят также в виде теста. Плотность глиняного теста при этом составляет 1350...1450 кг/м<sup>3</sup>.

4. Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> песка для получения растворной смеси заданной подвижности определяют по формуле

$$В = 0,5(Ц + Д), \quad \text{л}, \quad (59)$$

где  $Ц$  – расход цемента, кг;  $Д$  – расход добавки, кг.

В последующем расход воды уточняется опытным путем на пробных замесах по величине подвижности растворной смеси.

5. Записывают состав раствора в частях путем деления расхода каждого компонента растворной смеси на расход цемента:

$$\text{состав по объему: } \frac{V_u \cdot V_d \cdot V_n}{V_u \cdot V_u \cdot V_u}, \quad (60)$$

$$\text{состав по массе: } \frac{Ц \cdot Д \cdot П}{Ц \cdot Ц \cdot Ц}, \quad (61)$$

где  $V_u$ ,  $V_d$ ,  $V_n$  и  $Ц$ ,  $Д$ ,  $П$  – соответственно объемные и массовые расходы цемента, добавки и песка в растворе.



### 9.3.4. Определение и подбор подвижности растворной смеси

После выполнения расчета готовится пробный замес на 3 л песка из соответствующего количества цемента, добавки и воды. Компоненты растворной смеси тщательно перемешивают в лабораторной сферической чаше сначала в сухом состоянии, а затем вместе с расчетным количеством воды в течение 5...7 мин. Добавку в виде теста лучше вводить вместе с водой затворения. После приготовления растворной смеси проверяют ее подвижность и при необходимости производят корректировку состава.

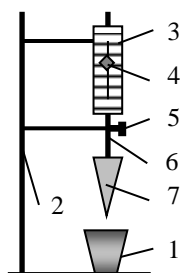


Рис. 29 Стандартный конус:

- 1 □ емкость со смесью;
- 2 □ штатив; 3 □ шкала;
- 4 □ указатель; 5 □ стопорный винт;
- 6 □ стержень, 7 □ конус

Подвижность растворной смеси определяется с помощью стандартного конуса (рис. 29). Величина подвижности характеризуется глубиной погружения, см, в растворную смесь эталонного конуса массой 300 г и углом при вершине 30°. Перед определением подвижности растворную смесь помещают в емкость в виде усеченного конуса. Уровень раствора в сосуде должен быть на 1 см ниже его краев. Уложенный раствор штыкуют 25 раз стержнем диаметром 10 мм и встряхивают о край стола 5-6 раз. Затем острие конуса приводят в соприкосновение с поверхностью раствора, закрепляют его направляющий стержень, фиксируют начальное положение указателя на шкале прибора, после чего отпускают зажим и дают возможность конусу свободно погружаться в смесь. Второй отсчет по шкале снимают через 1 мин после начала погружения конуса. Глубину погружения конуса определяют как разность между первым и вторым отсчетом.

По величине погружения конуса устанавливают подвижность смеси как среднее арифметическое двух испытаний.

В тех случаях, когда погружение конуса отличается от заданного, состав раствора корректируют, добавляя либо песок, либо воду до тех пор, пока подвижность растворной смеси не будет равна заданной.

### 9.3.5. Определение марки раствора

Марку раствора определяют испытанием на сжатие кубов (3 шт.) размером 70,7×70,7×70,7 мм в возрасте, установленном стандартом на данный вид раствора.

Образцы из растворной смеси подвижностью до 5 см изготавливают в формах со стальным дном. Форму заполняют раствором в два слоя. Уплотнение слоев производят 12 нажимами шпателя: 6 нажимов вдоль одной стороны и 6 - в перпендикулярном направлении. Образцы растворной смеси подвижностью 5 см и более изготавливают в формах без дна. Форму при этом устанавливают на керамический кирпич, покрытый влажной газетной бумагой. Формы заполняют растворной смесью в один прием и уплотняют 25 штыкованиями стального стержня по concentрической окружности от центра к краям.

Образцы раствора, предназначенного для эксплуатации в воздушно сухих условиях и приготовленные на воздушных вяжущих, твердеют на воздухе при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха  $65 \pm 10$  %. Образцы раствора, приготовленные на гидравлических вяжущих, в течение первых 3 сут должны храниться в камере нормального твердения при относительной влажности воздуха 95...100 %. Дальнейшее твердение обусловлено условиями эксплуатации. Если это влажная среда то образцы хранятся в воде, если воздушная - в помещении при относительной влажности воздуха  $65 \pm 10$  %.

За проектный возраст раствора, если иное не установлено в проектной документации, следует принимать:

- для растворов, приготовленных без гидравлических вяжущих □ 7 сут;
- для растворов с применением гидравлических вяжущих □ 28 сут.

Предел прочности раствора на сжатие определяется по формуле:

$$R_p = \frac{P}{A}, \quad (62)$$

где  $P$  □ разрушающая нагрузка, Н (кгс);  $A$  □ площадь сечения образца, м<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).  
Если требуемая марка не достигнута, то делается корректировка состава.

**Приборы, инструменты, материалы:** весы технические по ГОСТ 16474, весы торговые по ГОСТ 16474, мерный сосуд объемом 0,5 л, коническая чаша для перемешивания растворной смеси, конусное ведро емкостью 3 л, стандартный конус СтройЦНИЛа для определения подвижности растворной смеси, формы размером 70,7×70,7×70,7 мм или балочки размером 40×40×160 мм, шпатель для уплотнения растворной смеси в формах, штыковка диаметром 10...12 мм, штангенциркуль по ГОСТ 166, гидравлический пресс по ГОСТ 8905-82, цемент, кварцевый песок, пластифицирующая добавка, вода.

### Аттестационные вопросы

1. Что представляет собой строительный раствор?
2. Как классифицируются строительные растворы по средней плотности, виду вяжущего и прочности на сжатие?
3. По каким показателям осуществляется выбор вида вяжущего для строительного раствора?
4. Перечислите основные показатели качества растворной смеси и раствора.
5. С какой целью вводят в строительные растворы неорганические и органические добавки?
6. Какие исходные данные должны быть известны перед определением состава смешанного строительного раствора?
7. Изложите последовательность подбора состава смешанного строительного раствора.
8. Опишите методику приготовления пробного замеса растворной смеси.
9. Как определяется подвижность растворной смеси?
10. Как производится определение прочности раствора и его марки?

*Литература:* [ 1, 2, 3, 7, 8, 12 ].

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО (КОНСТРУКЦИОННОГО) БЕТОНА

### 10.1. Общие сведения

**Бетоном** называют искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рациональной по составу, тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества, воды и заполнителей. Также в состав бетонов вводят добавки, улучшающие свойства как смесей, так и затвердевших конгломератов.

Смесь компонентов бетона до начала ее затвердевания называют бетонной смесью.

Тяжелый (обычный) бетон содержит плотные заполнители (кварцевый песок, щебень или гравий из плотных каменных пород) и применяется в качестве конструкционного материала.

Пористость тяжелых бетонов не превышает 7 %.

Важнейшим показателем качества бетона является его прочность, выражающаяся классом или маркой. Класс бетона по прочности на сжатие - это гарантированная прочность его на сжатие с обеспеченностью 0,95. Соотношение между классами бетона и его марками по прочности на сжатие при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 %, представлено в табл. 41.

Таблица 41

Соотношение между классами и марками тяжелого бетона

Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона, $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Марка бетона по прочности
В 3,5	45,8	M50	В 21,5	294,5	M300
В 5	65,5	M75	В 25	327,4	M350
В 7,5	98,2	M100	В 26, 5	359,9	M350
В 10	131,0	M150	В 30	392,9	M400
В 12,5	163,7	M150	В 35	458,4	M450
В 15	196,5	M200	В 45	589,4	M600
В 20	261,9	M250	В 50	654,8	M700

Проектирование состава бетона заключается в определении расхода исходных материалов (вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей) на 1 м<sup>3</sup> уплотненной бетонной смеси. От правильности проектирования состава бето-

на зависит его прочность, плотность, водонепроницаемость, теплопроводность и морозостойкость. Рациональным считается тот состав бетона, в котором расход вяжущего минимальный, а заполнителей — максимальный, при условии получения плотного бетона с заранее назначенными строительно-техническими свойствами. Состав бетонной смеси выражают в виде весового соотношения между цементом, песком и щебнем (гравием) с обязательным указанием водоцементного отношения и активности цемента (1:Х:У по массе при В/Ц = n) или в виде расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> уложенной и уплотненной бетонной смеси, например:

цемента — 280 кг

песка — 700 кг

щебня — 1250 кг

воды — 170 кг

Итого: 2400 кг

Различают номинальный (лабораторный) состав бетона, установленный для сухих материалов, и производственный (полевой) — для материалов в естественно-влажном состоянии. Лабораторный состав определяют расчетно-экспериментальным способом. Производственный состав уточняется непосредственно в условиях производства путем корректировки расхода заполнителей бетона на влажность.

### ***10.2. Цель работы***

Изучить расчетно-экспериментальный способ определения состава тяжелого бетона

### ***10.3. Состав работы***

Проектирование состава бетона включает следующие этапы:

1. Выбор материалов для бетона исходя из требований к нему, обусловленных особенностями службы и изготовления конструкций. Определение свойств сырьевых материалов.
2. Определение предварительного состава бетона расчетно-экспериментальным способом.
3. Корректировка состава бетона при получении требуемых значений удобоукладываемости смеси и класса (марки) бетона путем проведения пробных лабораторных замесов.
4. Проведение окончательной корректировки состава в условиях производства с учетом колебаний в свойствах заполнителей или других факторов.

## 10.4. Порядок выполнения работы

### 10.4.1. Сырьевые материалы для тяжелого бетона

Для определения состава бетона предварительно определяют следующие данные: класс и плотность бетона, гранулометрический состав заполнителей, объем межзерновых пустот в заполнителях, прочность, влажность, среднюю и истинную плотность заполнителей, вид и марку цемента, его среднюю и истинную плотность, удобоукладываемость бетонной смеси, способ формирования изделий из проектируемого бетона.

Для приготовления тяжелого бетона в качестве вяжущих материалов следует применять портландцемент и шлакопортландцемент, сульфатостойкий и пуццолановый цементы. Марку цемента следует назначать в зависимости от требуемой прочности (марки или класса) бетона согласно данным табл. 42. Минимальный расход цемента для неармированных (бетонных) конструкций должен составлять не менее 200 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона, а для железобетонных конструкций — не менее 220 кг. Максимальный расход цемента в бетоне не должен превышать 600 кг на 1 м<sup>3</sup>.

Таблица 42

Марка цемента в зависимости от заданного класса бетона

Класс (марка) бетона	B7,5 (100)	B10 (150)	B15 (200)	B25 (300)	B30 (400)	B40 (500)	B45 (600)
Марка цемента	300	400	400	400	500	600	600

При выборе щебня (гравия) для тяжелого бетона следует иметь в виду, что прочность щебня (в насыщенном водой состоянии) должна превышать прочность бетона в 2 раза, если его марка 300 и более, и в 1,5 раза для бетонов меньших марок. Максимально допустимая крупность щебня зависит от размера бетонируемой конструкции. Для достижения необходимой удобоукладываемости нельзя применять щебень крупнее  $\frac{1}{4}$  части минимального размера сечения конструкции и больше минимального расстояния между стержнями арматуры. При изготовлении плит покрытий применяют щебень с максимальной крупностью зерен, составляющей до  $\frac{1}{2}$  толщины плиты. Крупность заполнителей в бетонных смесях, подаваемых по трубопроводам, должна быть не более  $\frac{1}{3}$  их диаметра. Плотность заполнителей для тяжелого бетона должна составлять 2000...2800 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве мелкого заполнителя для тяжелого бетона следует применять природный песок и песок из отсевов дробления истинной плотностью 2000...2800 кг/м<sup>3</sup>. Для бетона наиболее пригоден крупный и средний песок по модулю крупности ( $M_k = 2...3,5$ ). Песок для бетонов марок 200 и выше должен иметь насыпную плотность не ниже 1550 кг/м<sup>3</sup>, в остальных случаях — не ниже 1400 кг/м<sup>3</sup>.

Вода для приготовления бетонных смесей должна содержать ограниченное количество органических веществ, не содержать окрашивающих примесей, нефтепродуктов, масел, жиров.

### 10.4.2. Расчет ориентировочного состава бетона

Для определения состава тяжелого бетона существует ряд расчетно-экспериментальных методов. Наибольшее распространение получил метод абсолютных объемов, согласно которому, во-первых, сумма объемов всех компонентов в 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси составляет 1 м<sup>3</sup>, т.е.

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + B = 1, \quad (63)$$

где  $Ц, B, П, Щ$  — расходы цемента, воды, песка и щебня на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;

$\rho_{ц}, \rho_{п}, \rho_{щ}$  — истинные плотности цемента, песка и щебня, кг/м<sup>3</sup>.

И, во-вторых, цементно-песчаный раствор расходуется на заполнение объема межзерновых пустот крупного заполнителя с некоторой раздвижкой его зерен. Это условие характеризует следующее уравнение:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + B = \frac{Щ}{\rho_{щн}} \cdot V_n \cdot K_p, \quad (64)$$

где  $\rho_{щн}$  — насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup> ;

$V_n$  — объем межзерновых пустот щебня (в долях единицы);

$K_p$  — коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (коэффициент избытка раствора).

Кроме того, в расчете используется формула закона прочности бетона:

$$R_{628} = A \cdot R_{ц} (Ц/B - 0,5), \quad (65)$$

где  $R_{628}$  — прочность бетона при сжатии, кгс/см<sup>2</sup>;

$R_{ц}$  — активность (или марка) цемента, кгс/см<sup>2</sup>;

$A$  — коэффициент, зависящий от качества заполнителей, принимаемый по табл. 43.

Таблица 43

Значение коэффициента качества заполнителей бетона

Качество заполнителей	$A$
Высокое	0,65
Рядовое (среднее)	0,60
Пониженного качества (гравий вместо щебня, мелкий песок)	0,55

Расчет состава бетона по методу абсолютных объемов производится в следующей последовательности:

1. Определяют водоцементное отношение ( $B/C$ ), исходя из требуемой прочности бетона ( $R_{628}$ ), по формуле

$$B/C = \frac{AR_c}{R_b + 0,5AR_c} \quad (66)$$

2. В зависимости от принятой подвижности (или жесткости) бетонной смеси, наибольшего размера зерен крупного заполнителя и его вида определяют ориентировочный расход воды (табл. 44).

Таблица 44

Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности, мм					
		гравия			щебня		
осадка конуса, см	жесткость, с	10	20	40	10	20	40
0	150...200	145	130	120	155	145	130
0	90...120	150	135	125	160	150	135
0	60...80	160	145	130	170	160	145
0	30...50	165	150	135	175	165	150
0	20...30	175	160	140	185	175	155
0	15...20	180	165	145	195	180	160
2...2,5	-	185	170	150	200	185	165
3...4	-	190	175	155	205	190	170
5	-	195	180	160	210	195	175
7	-	200	185	170	215	200	180
8	-	210	195	175	220	205	185
10...12	-	220	205	185	230	215	195

3. Вычисляют расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси по формуле

$$C = \frac{B}{B/C}, \quad \text{кг} \quad (67)$$

где  $B$  — расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, л;

$B/C$  — водоцементное отношение, доли.

4. Расход щебня (гравия) и песка в кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси вычисляют по формулам:

$$Щ = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{щ}} + \frac{V_{щ} \cdot K_p}{\rho_{цп}}}, \quad (68)$$



$$P = \left[ 1 - \left( \frac{C}{\rho_{ц}} + \frac{B}{\rho_{в}} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} \right) \right] \rho_n, \text{ кг} \quad (69)$$

где  $C, B, Ш, P$  – расход цемента, воды, щебня и песка на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;  
 $V_{ш}$  – объем межзерновых пустот щебня (в долях единицы);  
 $K_p$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя;  
 $\rho_{ш}, \rho_n$  – истинная плотность щебня и песка, кг/м<sup>3</sup> ;  
 $\rho_{шн}$  – насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup> .

Значение коэффициента раздвижки зерен для умеренно жестких бетонных смесей принимается 1,15...1,2, а для жестких бетонных смесей – 1,0...1,1. Для подвижных бетонных смесей значения зависят от расхода цемента и принимаются согласно данным табл. 45.

Таблица 45

Значение коэффициента раздвижки зерен заполнителя для подвижных смесей

Расход цемента на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг	Значения $K_p$	
	Бетон на гравии	Бетон на щебне
250	1,34	1,30
300	1,42	1,36
350	1,48	1,42
400	1,52	1,47

5. Записывают состав бетона в частях по массе путем деления расхода каждого компонента смеси на расход цемента:

$$Ц: П: Ш = \frac{Ц}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Ш}{Ц}, \quad (70)$$

где  $Ц, Д, П$  - соответственно расходы цемента, песка и щебня в бетоне.

#### **10.4.3. Подбор удобоукладываемости бетонной смеси и марки бетона с помощью опытных замесов**

Для производства работ и обеспечения высокого качества бетона в конструкции или изделиях необходимо, чтобы бетонная смесь имела удобоукладываемость (консистенцию), соответствующую условиям ее укладки. Удобоукладываемость бетонной смеси оценивают показателем подвижности или жесткости. При проектировании состава бетона удобоукладываемость смеси назначают в зависимости от вида и способа формирования изделия согласно данным табл. 46.

Удобоукладываемость бетонной смеси  
в зависимости от способа формования

Вид конструкции и способ уплотнения	Подвижность, см	Жесткость, с
Массивные армированные конструкции, плиты, балки, колонны, изготавливаемые с наружным или внутренним вибрированием	3...6	-
Монолитные, густоармированные железобетонные конструкции при сложных условиях вибрирования	10...18 и более	-
Перекрытия и стеновые панели, формуемые на виброплощадке; подготовка под фундаменты, полы и основания дорог наружным вибрированием	1...3	5...10

После выполнения расчета готовится пробный замес объемом 10 л из соответствующего количества компонентов. Смесь тщательно перемешивают

сначала в сухом состоянии, а затем вместе с расчетным количеством воды в течение 5 мин.

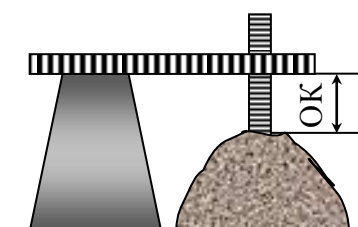


Рис. 30. Определение подвижности бетонной смеси

Затем определяют удобоукладываемость смеси.

Подвижные смеси оседают под действием собственной массы.

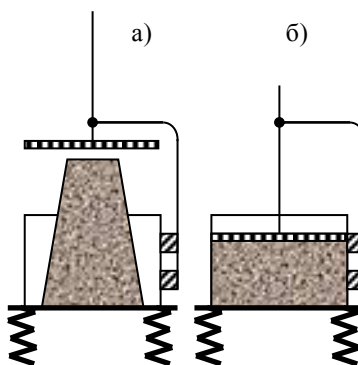


Рис. 31. Определение жесткости бетонной смеси:

- а - до вибрации;
- б - после вибрации

Подвижность смеси определяют с помощью стандартного конуса (рис. 30) по величине осадки конуса (ОК) следующим образом. Конус заполняют бетонной смесью в три слоя одинаковой высоты с 25 штыкованиями каждого слоя. После заполнения стального конуса его вертикально снимают и ставят рядом с бетонным конусом, который оседает и расплывается. С помощью двух линеек определяют величину осадки конуса в сантиметрах, которая и является характеристикой подвижности смеси.

Жесткие бетонные смеси при снятии конуса не оседают. Поэтому для их уплотнения требуется значительное механическое воздействие – вибрация,

прессование, вибропрессование.

Жесткость смеси тоже определяют с помощью стандартного конуса (рис. 31) по времени виброуплотнения смеси следующим образом. Конус помещают в стальной цилиндр, установленный на вибростолу, заполняют бетоном

ной смесью и уплотняют так же, как при определении подвижности смеси. Затем снимают стальной конус (рис. 31а) включают вибрацию и одновременно секундомер. Когда смесь перераспределится и уплотнится в цилиндре (рис. 31б) секундомер выключают. Полученное время в секундах и является показателем жесткости смеси.

Если удобоукладываемость (подвижность или жесткость) смеси окажется не равной заданной, то в смесь небольшими порциями добавляют пропорционально либо цемент и воду, либо щебень и песок и повторяют опыт до получения требуемой удобоукладываемости.

Получив бетонную смесь заданной подвижности, из нее изготавливают образцы-кубы (3 шт.) с размерами  $15 \times 15 \times 15$  см, которые должны находиться в камере нормального твердения при температуре  $20^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 95...100%. В возрасте 28 сут, образцы испытывают на сжатие и по табл. 41 устанавливают класс и марку бетона. Если нужная марка не достигнута, то делается корректировка состава.

После определения фактического расхода компонентов бетонной смеси рассчитывают коэффициент выхода бетона ( $\beta$ ), равный объему бетонной смеси ( $1 \text{ м}^3$ ) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление, по формуле:

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}}, \quad (71)$$

где  $V_{ц}$ ,  $V_{п}$ ,  $V_{щ}$  — объемы составляющих (цемента, песка щебня), затраченных на приготовление  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси,  $\text{м}^3$ , определяемые по формулам

$$V_{ц} = \frac{Ц}{\rho_{цн}}; \quad (72) \quad V_{п} = \frac{П}{\rho_{пн}}; \quad (73) \quad V_{щ} = \frac{Щ}{\rho_{щн}}, \quad (74)$$

где  $Ц$ ,  $П$ ,  $Щ$  — расход сухих материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, кг;

$\rho_{цн}$ ,  $\rho_{пн}$ ,  $\rho_{щн}$  — насыпная плотность сухих (цемента, песка и щебня),  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

*Значение величины коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах 0,55...0,75. Коэффициент выхода бетона характеризует степень уменьшения объема полученной бетонной смеси по сравнению с суммой объемов всех составляющих ее. Коэффициент выхода бетона используют при определении расхода составляющих бетона на один замес бетоносмесителя.*

#### 10.4.4. Корректировка состава бетона в заводских условиях

При использовании в производственных условиях влажных заполнителей производят пересчет состава бетона с лабораторного на полевой (производственный) по формулам:

$$П_{пр} = П_{ф}(1 + 0,01W_n), \quad (75)$$

$$Ш_{np} = Ш_{ф}(1 + 0,01W_{щ}), \quad (76)$$

$$B_{np} = B_{ф} - 0,01(П_{ф} \cdot W_n + Ш_{ф} \cdot W_{щ}), \quad (77)$$

где  $П_{ф}$ ,  $Ш_{ф}$ ,  $B_{ф}$  — фактический расход сухих (песка, щебня) и расход воды на приготовление 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;

$W_n$ ,  $W_{щ}$  — влажность песка и щебня, %.

### *Аттестационные вопросы*

1. Что такое бетон?
2. Чем бетонная смесь отличается от бетона?
3. Что является важнейшей характеристикой бетона?
4. Какой состав бетона считается рациональным?
5. Чем различаются лабораторный и производственный составы бетона?
6. Из каких этапов состоит проектирование состава бетона?
7. Какие условия следует выполнить при расчете состава тяжелого бетона по методу абсолютных объемов?
8. Как определяют подвижность бетонной смеси?
9. Изложите методику определения жесткости бетонной смеси.
10. Изложите последовательность определения марки бетона.

*Литература:* [ 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 12, 13, 14 ].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы определения качества строительных материалов, хорошо организованный текущий контроль параметров технологии строительного производства позволяют обеспечить рациональное использование материалов и высокое качество зданий и сооружений .

Инженер-строитель обязан знать и уметь организовать надежную систему контроля материалов и изделий. На основании нормативных документов он должен:

- ✓ уметь правильно испытывать сырьевые компоненты;
- ✓ владеть способами определения основных характеристик изделий;
- ✓ уметь проверять параметры технологии изготовления строительных материалов и изделий.

Проработка разделов практикума и выполнение цикла лабораторных работ создают предпосылки для подготовки специалистов высокой квалификации, способных заниматься научной деятельностью или успешно работать в народном хозяйстве нашей страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2003. - 701 с.
2. Грушко И.М., Золотарев В.А., Глущенко и др. Испытание дорожно-строительных материалов. Лабораторный практикум. - М.: Транспорт, 1985. - 200 с.
3. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 6 с.
4. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 8 с.
5. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 12 с.
6. ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 9 с.
7. ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. - М.: Изд-во стандартов, 1973. - 4 с.
8. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1993. - 12 с.
9. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. - М.: Изд-во стандартов, 1978. - 22 с.
10. СНиП 3.09.01-85 Производство сборных железобетонных конструкций и изделий. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 31 с.
11. ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 23 с.
12. ГОСТ 10181.1-81 Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 8 с.
13. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 6 с.
14. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 36 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>Лабораторная работа № 1. Определение физических свойств строительных материалов</b> .....	4
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Цель работы.....	4
1.3. Порядок выполнения работы.....	4
1.3.1. Определение истинной плотности .....	4
1.3.1.1. Определения истинной плотности с помощью мерного цилиндра.....	5
1.3.1.2. Определения истинной плотности с помощью прибора Ле-Шателье .....	5
1.3.1.3. Определения истинной плотности с помощью пикнометра .....	6
1.3.2. Определение средней плотности .....	6
1.3.2.1. Определения средней плотности образцов правильной геометрической формы .....	7
1.3.2.2. Определения средней плотности образцов неправильной формы .....	7
1.3.3. Определение насыпной плотности.....	8
1.3.4. Определение пористости материала.....	9
1.3.5. Определение межзерновой пустотности.....	9
1.3.6. Определение водопоглощения материалов.....	10
1.3.7. Определение влажности материалов.....	11
<b>Лабораторная работа № 2. Механические свойства строительных материалов</b> .....	12
2.1. Общие сведения.....	12
2.2. Цель работы.....	12
2.3. Порядок выполнения работы.....	12
2.3.1. Определение предела прочности при сжатии .....	12
2.3.2. Определение предела прочности при изгибе .....	14
2.3.3. Определение твердости материалов .....	15
2.3.3.1. Определение твердости материалов по шкале Мооса .....	15
2.3.3.2. Определение твердости для пластичных материалов .....	16
2.3.4. Определение сопротивления удару.....	16
2.3.5. Определение истираемости.....	17
2.3.6. Определение износа в полочном барабане.....	18
<b>Лабораторная работа № 3. Определение физических свойств древесины</b> .....	20
3.1. Общие сведения.....	20
3.2. Цель работы.....	20
3.3. Порядок выполнения работы.....	20
3.3.1. Определение средней плотности древесины .....	20
3.3.1.1. Определение средней плотности древесины в лаборатории .....	21
3.3.1.2. Определение средней плотности древесины в полевых условиях.....	21
3.3.2. Определение влажности древесины .....	22
3.3.2.1. Определение абсолютной влажности древесины .....	22
3.3.2.2. Определение равновесной влажности древесины .....	22

3.3.3. Определение усушки древесины .....	23
3.3.4. Определение содержания поздней древесины в годичном слое .....	24
<b>Лабораторная работа № 4. Определение механических     свойств древесины .....</b>	<b>26</b>
4.1. Общие сведения.....	26
4.2. Цель работы.....	26
4.3. Порядок выполнения работы.....	26
4.3.1. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон .....	26
4.3.2. Определение предела прочности при статическом изгибе .....	27
4.3.3. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон .....	28
<b>Лабораторная работа № 5. Природные каменные     материалы и изделия .....</b>	<b>30</b>
5.1. Общие сведения.....	31
5.2. Цель работы.....	31
5.3. Порядок выполнения работы.....	31
<b>Лабораторная работа № 6. Испытание песка     для строительных работ .....</b>	<b>45</b>
6.1. Общие сведения.....	46
6.2. Цель работы.....	46
6.3. Порядок выполнения работы.....	46
6.3.1. Определение истинной плотности зерен песка .....	46
6.3.2. Определение насыпной плотности песка .....	46
6.3.3. Определение пустотности песка .....	47
6.3.4. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц .....	47
6.3.5. Определение наличия органических примесей.....	48
6.3.6. Определение зернового состава и модуля крупности песка.....	49
6.3.7. Определение влажности.....	51
<b>Лабораторная работа № 7. Определение физико-механических     свойств цемента .....</b>	<b>53</b>
7.1. Общие сведения.....	54
7.2. Цель работы.....	54
7.3. Порядок выполнения работы.....	54
7.3.1. Определение истинной плотности цемента .....	54
7.3.2. Определение тонкости помола цемента .....	55
7.3.3. Определение нормальной густоты цементного теста.....	55
7.3.4. Определение сроков схватывания цементного теста.....	56
7.3.5. Определение равномерности изменения объема цемента.....	56
7.3.6. Определение марки цемента.....	57
7.3.7. Определение вида цемента.....	59
<b>Лабораторная работа № 8. Определение свойств вязкого     нефтяного битума .....</b>	<b>61</b>
8.1. Общие сведения.....	61
8.2. Цель работы.....	62
8.3. Порядок выполнения работы.....	62
8.3.1. Определение глубины проникания иглы .....	62
8.3.2. Определение температуры размягчения битума .....	63
8.3.3. Определение растяжимости битума .....	64
<b>Лабораторная работа № 9. Подбор состава строительного     раствора .....</b>	<b>66</b>



