

**РОСЖЕЛДОР**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ростовский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

А.В. Долгова, Н.А. Мелющенко

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**Учебно-методическое пособие  
к лабораторным работам**

Ростов-на-Дону  
2025

УДК 691(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Богатина А.Ю. (ФГБОУ ВО РГУПС)

**Долгова, А.В.**

Строительные материалы : учебно-методическое пособие к лабораторным работам / А.В. Долгова, Н.А. Мелющенко; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2025. – с. – Библиогр.: с. .

Содержатся программа, методические указания к разделам курса и необходимая справочная литература. Описана методика выполнения лабораторных испытаний.

Предназначен для студентов очной формы обучения по специальности среднего профессионального образования 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений.

Одобрено к изданию кафедрой «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог»

*Учебное издание*

**Долгова** Анна Владимировна  
**Мелющенко** Наталья Александровна

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Печатается в авторской редакции  
Технический редактор

Подписано в печать . Формат 60×84/16.  
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. .  
Тираж      экз. Изд. № . Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

---

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, зд. 2.

© Долгова А.В., Мелющенко Н.А., 2025  
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1 Общие свойства строительных материалов .....	5
2 Лабораторная работа № 1. Определение физико-механических свойств строительных материалов.....	7
3 Лабораторная работа № 2. Определение физико-механических свойств древесины.....	14
4 Лабораторная работа № 3. Определение свойств строительного гипса.....	19
5 Лабораторная работа №4. Определение качества заполнителей для бетона.....	23
6 Лабораторная работа № 5. Расчет состава тяжелого цементного бетона....	29
7 Лабораторная работа № 6. Определение свойств битумов.....	33
8 Лабораторная работа №7. Определение степени коррозии арматуры в железобетоне.....	36
Библиографический список .....	38

## **ВВЕДЕНИЕ**

Индустрия строительных материалов является одной из ведущих в промышленной отрасли страны.

Строительные материалы – это природные и искусственные материалы и изделия, используемые при строительстве и ремонте зданий и сооружений. Различают строительные материалы общего (цемент, бетон, древесина) и специального назначения (акустические, теплоизоляционные, огнеупорные материалы).

На каждый строительный материал имеется ГОСТ или ТУ, в котором дается определение материала, приводятся важнейшие требования, предъявляемые к нему, методы испытаний, правила транспортирования, приемки и хранения. Стандарт имеет силу закона, и соблюдение его обязательно.

Основными направлениями экономического и социального развития РФ в XXI веке являются улучшение качества и развития производства эффективных строительных материалов, более широкое использование материалов попутной добычи, вторичного сырья и отходов других отраслей для производства строительных материалов, последовательный переход на поставку изделий высокой строительной готовности, расширение ассортимента и объема поставки высококачественной продукции для нужд населения, в том числе местных строительных материалов.

Студент изучает строительные материалы по технологическому признаку, положенному в основу классификации. К основным группам (классам) строительных материалов относятся:

- 1 Природные каменные материалы.
- 2 Неорганические вяжущие материалы.
- 3 Строительные растворы.
- 4 Бетоны и изделия из них.
- 5 Железобетонные изделия.
- 6 Керамические изделия.
- 7 Органические вяжущие материалы и изделия на их основе.
- 8 Лесные материалы.
- 9 Силикатные материалы.
- 10 Тепло- и звукоизоляционные материалы.
- 11 Стеклянные и другие плавленые материалы и изделия.
- 12 Строительные материалы из пластических масс.
- 13 Асбестоцементные изделия.
- 14 Материалы для окраски и других видов отделки.
- 15 Металлические изделия.

Основным критерием сравнения различных видов материалов служат их технические свойства. Анализируя показатели технических свойств, можно сравнивать металл и древесину, бетон и кирпич, цемент и известь и др.

# 1 ОБЩИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Истинная плотность  $\rho$**  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии без пор и пустот:

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

где  $m$  – масса материала, г;

$V_a$  – объем в плотном состоянии, см<sup>3</sup>.

**Средняя плотность  $\rho_0$**  (г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>) – есть масса единицы объема материала в естественном состоянии (объем определяется вместе с порами):

$$\rho_0 = \frac{m}{V_e}. \quad (1.2)$$

**Пористость  $\Pi$**  – есть степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = \frac{V_\Pi}{V_e}. \quad (1.3)$$

Пористость выражают в долях объема материала, принимаемого за 1, или в % от объема. Для вычисления пористости в %, используют формулу:

$$\Pi_o = (1 - \frac{\rho_0}{\rho}) \cdot 100. \quad (1.4)$$

**Влажность** материала  $W(%)$  определяется содержанием в нем влаги, отнесенными к массе материала в сухом состоянии:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100, \quad (1.5)$$

где  $m_2$  – масса влажного образца, г;

$m_1$  – масса сухого образца, г.

**Водопоглощением** называют способность материала поглощать и удерживать воду.

Количество поглощенной материалом воды, отнесенное к массе сухого материала, называется *водопоглощением по массе*  $W_m(%)$ :

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100, \quad (1.6)$$

где  $m_2$  – масса образца, насыщенного водой, г;

$m_1$  – масса сухого образца, г.

Объем поглощенной материалом воды (численно равный ее массе), отнесенный к объему материала, называется *объемным водопоглощением*  $W_o(%)$ :

$$W_o = \frac{m_2 - m_1}{V_e} \cdot 100. \quad (1.7)$$

Степень снижения прочности материала при предельном его водонасыщении называется **водостойкостью**. Водостойкость численно характеризуется коэффициентом размягчения  $K_{\text{разм}}$ :

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}, \quad (1.8)$$

где  $R_{\text{нас}}$  – предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии, кгс/см<sup>2</sup>;

$R_{\text{сух}}$  – предел прочности при сжатии сухого материала, кгс/см<sup>2</sup>.

**Прочность** – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами.

Предел прочности при осевом сжатии  $R_{\text{сж}}$  (Мпа) определяется по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{разр}}}{F}, \quad (1.9)$$

где  $P_{\text{разр}}$  – разрушающая сила, кгс,  $H$ ;

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

Предел прочности при изгибе  $R_{\text{И}}$  (Мпа) определяется по формуле:

$$R_{\text{И}} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (1.10)$$

где  $l$  – расстояние между опорами, см;

$b$  – ширина образца, см;

$h$  – высота образца, см.

**Коэффициент конструктивного качества** материала равна отношению показателя прочности при осевом сжатии  $R_{\text{сж}}$  (МПа) к средней плотности (безразмерная величина), определяется по формуле:

$$K_{\text{к.к.}} = \frac{R_{\text{сж}}}{\rho_0}, \quad (1.11)$$

Истираемость материала  $I$  (г/см<sup>2</sup>) определяется по формуле:

$$I = \frac{m - m_1}{S}, \quad (1.12)$$

где  $m$  – масса материала до истирания, г;

$m_1$  – масса материала после истирания, г;

$S$  – площадь истираемой поверхности, см<sup>2</sup>.

## 2 Лабораторная работа № 1

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Опыт № 1. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

Для определения средней плотности образцы материалы могут быть изготовлены в форме куба, параллелепипеда или цилиндра. При этом необходимо учитывать, что для пористых материалов размер образца кубической формы должен быть не менее  $10 \times 10 \times 10$  см, а для плотных – не менее  $4 \times 4 \times 4$  см. У цилиндрических образцов диаметр и высота должны быть соответственно не менее 7 и 4 см.

Образцы правильной геометрической формы (три для испытуемого материала) высушивают в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5$  °C, охлаждают в эксикаторе и хранят в нем до момента испытания.

При помощи штангенциркуля измеряют размер образцов и вычисляют его объем, после чего образец взвешивают на технических весах. Каждую грань образца кубической или близкой к ней формы измеряют в трех местах ( $a_1, a_2, a_3; b_1, b_2, b_3; h_1, h_2, h_3$ ) по ширине и высоте и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани. На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической формы проводят два взаимно перпендикулярных диаметра ( $d_1, d_2, d_3, d_4$ ), затем измеряют их; кроме того измеряют диаметры средней части цилиндра ( $d_5, d_6$ ) в середине его высоты. За окончательный результат принимают среднее арифметическое шести измерений диаметра. Высоту цилиндра определяют в четырех местах ( $h_1, h_2, h_3, h_4$ ) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое четырех измерений.

Образцы любой формы со стороной размером до 10 см измеряют с точностью до 0,1 мм, размером 10 см и более – с точностью до 1 мм. Образцы массой менее 500 г взвешивают с точностью до 0,1 г, а массой 500 г и более – с точностью до 1 г.

Объем образца  $V$ , см<sup>3</sup>, имеющего вид куба или параллелепипеда, вычисляют по формуле:

$$V = a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot h_{cp}, \quad (2.1)$$

где  $a_{cp}, b_{cp}, h_{cp}$  – средние значения размеров граней образца, см.

Объем образца  $V$ , см<sup>3</sup>, цилиндрической формы вычисляют по формуле:

$$V = \frac{\pi d_{cp}^2 \cdot h_{cp}}{4}, \quad (2.2)$$

где  $\pi = 3,14$ ;

$d_{cp}$  – средний диаметр цилиндра, см;

$h_{cp}$  – средняя высота цилиндра, см.

Зная объем и массу образца, по формуле определяют его среднюю плотность.

$$\rho_0 = \frac{m}{V}. \quad (2.3)$$

Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое трех значений различных образцов.

Результаты испытания записывают в журнал для лабораторных работ. В журнале следует зарисовать образцы правильной геометрической формы с указанием их размеров.

*Таблица 2.1*  
Результаты испытаний

1	№ опыта	1	2	3
2	Наименование материалов			
3	Размеры образца: высота – $h$ , см диаметр – $d$ , см длина – $l$ , см ширина – $b$ , см			
4	Объем образца в естественном состоянии: $V_e = b \cdot l \cdot h$ , см <sup>3</sup> $V_e = h \cdot (\pi \cdot d^2)/4$ , см <sup>3</sup>			
5	Масса образца $m$ , г			
6	Средняя плотность материала $\rho_0 = m/V_e$ , г/см <sup>3</sup>			

## Опыт № 2. Определение средней плотности образца неправильной геометрической формы материала пористого

При определении средней плотности образца неправильной формы сложно найти его объем. Для этого применяют метод, основанный на вытеснении образцом из сосуда жидкости, в которую его погружают.

Для испытания берется мерный цилиндр (прозрачный с градуировкой), в который заливается исходный объем жидкости, после чего данное значение записывается в журнал.

Испытуемый образец материала сначала высушивают и взвешивают. Затем образец покрывают парафином и взвешивают повторно. После этого образец погружают в воду и определяют объем жидкости в сосуде.

Определяют объем образца материала, покрытого парафином, по формуле:

$$V_3 = V_2 - V_1, \quad (2.4)$$

где  $V_2$  – объем жидкости в приборе после погружения образца, см<sup>3</sup>;

$V_1$  – исходный объем жидкости в приборе, см<sup>3</sup>.

Объем парафина, налипшего на образец, вычисляют по формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{m_1 - m}{\rho_{\text{п}}}, \quad (2.5)$$

где  $m_1$  – масса образца, покрытого парафином, г;

$m_2$  – масса сухого образца, г;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность парафина,  $\rho_{\text{п}} = 0,93$  г/см<sup>3</sup>.

Вычисляют естественный объем образца ( $\text{см}^3$ ) по формуле:

$$V_e = V_3 - V_{\pi}. \quad (2.6)$$

После этого вычисляют среднюю плотность образца ( $\text{г/см}^3$ ) по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_e}. \quad (2.7)$$

Результаты испытаний заносят в журнал для лабораторных работ (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Результаты испытаний

1	№ опыта	1
2	Наименование материала	
3	Масса образца: до парафинирования – $m$ , г после парафинирования – $m_1$ , г	
4	Объем жидкости в приборе: <u>исходный</u> – $V_1$ , $\text{см}^3$ после погружения образца в парафин – $V_2$ , $\text{см}^3$	
5	Объем образца материала, покрытого парафином: $V_3 = V_2 - V_1$ , $\text{см}^3$	
6	Объем парафина на образце $V_{\pi} = \frac{m_1 - m}{\rho_{\pi}}$ , $\text{см}^3$ *плотность парафина принять равной $0,93 \text{ г/см}^3$	
7	Объем образца $V_e = V_3 - V_{\pi}$ , $\text{см}^3$	
8	Средняя плотность материала $\rho_0 = \frac{m}{V_e}$ , $\text{г/см}^3$	

**Опыт № 3. Определение насыпной плотности материалов (цемента, гипса, песка, щебня и др.)**

Для испытаний используют мерный цилиндр объемом 1 л ( $1000 \text{ см}^3$ ). Производится взвешивание мерного сосуда. Затем сосуд заполняется испытуемым материалом с условием, что материал должен полностью заполнять объем сосуда. Взвешивается сосуд с материалом и определяется масса материала по формуле:

$$m = m_2 - m_1, \quad (2.8)$$

где  $m_2$  – масса мерного сосуда с материалом, г;  
 $m_1$  – масса мерного сосуда, г.

Затем определяется насыпная плотность материала по формуле:

$$\rho_{\text{н}} = \frac{m}{V}, \quad (2.9)$$

где  $V$  – объем мерного сосуда,  $\text{см}^3$ .

Результаты испытаний заносят в журнал для лабораторных работ (табл. 2.3).

Таблица 2.3  
Результаты испытаний

1	№ опыта	1	2
2	Наименование материала		
3	Объем мерного сосуда – $V$ , см <sup>3</sup>		
4	Масса мерного сосуда – $m_1$ , г		
5	Масса мерного сосуда с материалом – $m_2$ , г		
6	Масса материала $m = m_2 - m_1$ , г		
7	Насыпная плотность материала $\rho_h = \frac{m}{V}$ , г/см <sup>3</sup>		

#### Опыт № 4. Определение истинной плотности

Плотностью материала называют физическую величину, равную отношению массы материала к его объему.

Для определения плотности каменного материала из отобранной и тщательно перемешанной средней пробы отвешивают 200–220 г. кусочки отобранной пробы материала сушат в сушильном шкафу при температуре 110±5 °C до постоянной массы; затем их тонко измельчают в агатовой или фарфоровой ступке. Полученный порошок просеивают через сито с сеткой № 02 (размер ячейки в свету 0,2×0,2 мм). Отвесив в фарфоровой чашке навеску около 180 г просеянного порошка, его снова высушивают при температуре 110±5 °C, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, в котором порошок хранят до проведения испытания.

Для испытания берут стеклянную колбу с градуировкой, в которую заливают жидкость. Определяют исходный объем жидкости в см<sup>3</sup>. Далее берут испытуемый материал, взвешивают и засыпают в сосуд.

Определяют объем материала в плотном состоянии по формуле:

$$V_a = V_2 - V_1, \quad (2.10)$$

где  $V_2$  – объем жидкости в сосуде с материалом, см<sup>3</sup>;

$V_1$  – исходный объем жидкости в сосуде, см<sup>3</sup>.

Истинную плотность материала определяют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V_a}, \quad (2.11)$$

где  $m$  – масса материала, г.

Результаты испытаний заносят в журнал для лабораторных работ (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Результаты испытаний

1	№ опыта	1	2
2	Наименование материала		
3	Масса материала – $m$ , г		
4	Объем жидкости в приборе: исходный – $V_1$ , см <sup>3</sup> с материалом – $V_2$ , см <sup>3</sup>		

1	2	3	4
5	Объем материала в плотном состоянии $V_a = V_2 - V_1$ , см <sup>3</sup>		
6	Истинная плотность материала $\rho = \frac{m}{V_a}$ , г/см <sup>3</sup>		

### Опыт № 5. Определение водопоглощения

**Водопоглощение** – это способность материала впитывать и удерживать в порах воду. Вода заполняет мельчайшие поры и капилляры в материале, но так как часть из них все же оказывается недоступной для воды, а в порах, заполняемых водой, частично остается воздух, то по количеству воды, поглощаемой материалом, только приблизительно можно установить открытую пористость. Определяют водопоглощение по массе и объему.

Водопоглощение по массе  $W_m$ , %, равно отношению массы воды, поглощенной образцом при насыщении, к массе сухого образца:

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m}, \quad (2.12)$$

где  $m$  – масса сухого образца, г;

$m_1$  – масса насыщенного водой образца, г.

Водопоглощение по объему  $W_v$ , %, равно массе поглощенной образцом воды при насыщении его, отнесенной к объему образца  $V$ :

$$W_v = \frac{m_1 - m}{V}. \quad (2.13)$$

Соотношение между водопоглощением по массе и объему равно средней плотности материала в сухом состоянии:

$$\frac{W_v}{W_m} = \frac{m_1 - m}{V} : \frac{m_1 - m}{m} = \frac{m}{V} = \rho_0. \quad (2.14)$$

Зная значения водопоглощения по массе и среднюю плотность, можно получить формулу для расчета водопоглощения по объему:

$$W_v = W_m \cdot \rho_0. \quad (2.15)$$

Водопоглощение строительных материалов определяют следующим образом: три – пять образцов высушивают до постоянной массы при температуре  $110 \pm 5$  °С и охлаждают до комнатной температуры, после чего их погружают в воду и выдерживают там до постоянной массы. Однако порядок испытания различных видов материала регламентируется соответствующими ГОСТами.

Водопоглощение по массе  $W_m$  и объему  $W_v$  вычисляют по приведенным выше формулам с точностью до 0,1 %. За окончательный результат определения водопоглощения принимают среднее арифметическое трех определений для однородных горных пород и пяти определений для неоднородных горных пород. Результаты испытаний заносят в журнал для лабораторных работ (табл. 2.5).

Таблица 2.5  
Результаты испытаний

1	№ опыта	1	2
2	Наименование материала		
3	Масса сухого образца – $m$ , г		
4	Масса образца, насыщенного водой, – $m_1$ , г /время выдержки в воде не менее 48 час/		
5	Масса образца, насыщенного водой, при гидростатическом взвешивании, – $m_2$ , г		
6	Объем образца: $V_e = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{H_2O}}$ , см <sup>3</sup> Плотность воды принимаем равной $\rho_{H_2O} = 1,0$ г/см <sup>3</sup>		
7	Водопоглощение по массе $W_m = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100\%$		
8	Водопоглощение по объему $W_v = \frac{m_1 - m_2}{V_e} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100\%$		

### Опыт № 6. Определение пористости

Пористость материала характеризуется степенью заполнения его объема порами. Ее вычисляют по формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (2.16)$$

где  $\Pi$  – пористость материалов, %;

$\rho_0$  – средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Для сыпучих материалов по приведенной выше формуле определяют истинную пористость, называемую обычно пустотностью. В данном случае берут насыпную плотность, а вместо плотности – среднюю плотность кусков (зерен) материала.

Результаты вычисления пористости материала заносят в журнал для лабораторных работ (табл. 2.6).

В объеме материала одновременно могут находиться поры и пустоты. Поры представляют собой мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой; пустоты же – более крупные ячейки и полости, образующиеся между кусками рыхло насыпанного материала.

Значения пористости строительных материалов различны, например для стекла и металла пористость составляет 0 %, для кирпича 25–35 %, для обычно тяжелого бетона 5–10 %, для газобетона 55–85 %, для поропласта 90–95 %.

Пористость в значительной степени определяет эксплуатационные свойства материалов: водопоглощение, водопроницаемость, морозостойкость, прочность, теплопроводность и др.

Таблица 2.6  
Результаты испытаний

1	№ опыта	1	2
2	Наименование материала		
3	Истинная плотность материала – $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
4	Средняя плотность материала – $\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>		
5	Масса образца материала – $m$ , г		
6	Масса образца материала насыщенного водой – $m_1$ , г		
7	Объем образца материала – $V_e$ , см <sup>3</sup>		
8	Общая пористость материала $\Pi_O = \left[ 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right] \cdot 100 \%$		
9	Открытая пористость материала $\Pi_u = \frac{m_1 - m}{V_e} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100 \%$		
10	Закрытая пористость материала $\Pi_z = \Pi_O - \Pi_u$ , %		

### Опыт № 7. Определение влажности

Испытуемый образец взвешивается в естественном (влажном) состоянии. Затем образец помещается в сушильный шкаф, где высушивается при температуре  $110 \pm 5$  °С до постоянного веса. Затем образец взвешивается повторно. Определяется влажность образца по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\% , \quad (2.17)$$

где  $m_1$  – масса образца в естественном состоянии, г;  
 $m_2$  – масса высушенного образца, г.

Результаты испытаний заносят в журнал для лабораторных работ (табл. 2.7).

Таблица 2.7  
Результаты испытаний

1	№ опыта	1	2
2	Наименование материала		
3	Масса образца в естественном состоянии – $m_1$ , г		
4	Масса образца высушенного при температуре $110 \pm 5$ °С до постоянного веса – $m_2$ , г		
5	Влажность образца $W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%$		

### 3 Лабораторная работа № 2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

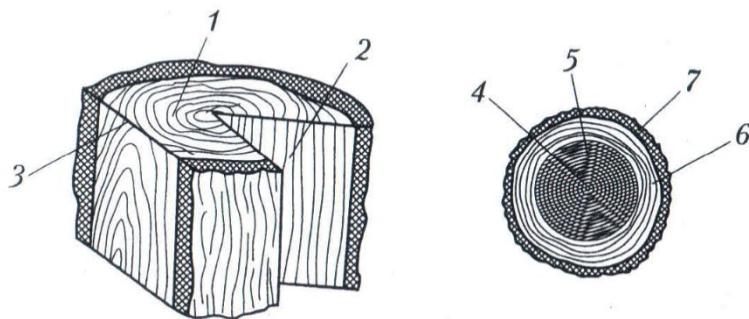


Рисунок 3.1 – Разрез ствola древесины

1 – поперечный (торцовый); 2 – радиальный; 3 – тангенциальный;  
4 – сердцевина; 5 – ядро; 6 – заболонь; 7 – кора

**Торцовый**, или поперечный, разрез получается при пересечении ствola плоскостью, перпендикулярной к его оси. **Радиальный** разрез получается при пересечении ствola плоскостью, проходящей через его ось по радиусу или диаметру поперечного сечения. **Тангенциальный** (тангенциальный) разрез получается при пересечении ствola плоскостью, перпендикулярной к радиусу ствola, т.е. по хорде поперечного сечения на некотором расстоянии от оси ствola.

### Опыт №1. Определение влажности древесины весовым методом (ГОСТ 16483.7-71)

Приборы и материалы:

1. Шкаф сушильный, обеспечивающий высыпывание древесины при  $103 \pm 2$  °C.
2. Весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,01 г.
3. Штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм.
4. Образцы древесины в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой в направлении вдоль волокон 30 мм (по 3 образца каждой породы).
5. Влагомер ИВ-1 или другая аппаратура подобного типа.

Влажность древесины определяют следующим образом:

1. Определяют массу образца взвешиванием на весах.
2. Образцы помещают в сушильный шкаф, в котором автоматически поддерживается температура 100...105 °C. Температура не должна

превышать 105 °С, так как при большей температуре происходит выделение смолы (из древесины хвойных пород) и химическое разложение древесины.

3. Определяют массу высушенных образцов. Первый раз массу образцов определяют через определенное время после начала высушивания: для образцов из древесины всех пород, кроме ясения и дуба, - через 6 ч, а из ясения и дуба – через 10 ч. Второе и последующие взвешивания проводят через каждые 2 ч, т.е. до тех пор, пока последующее взвешивание не даст тот же результат, что и предыдущие (в пределах точности взвешивания).
4. Влажность образцов древесины  $W$  с округлением до 1% вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

где  $m_1$  – масса влажного образца (т.е. до высушивания), г;  
 $m_2$  – масса высушенного образца (т.е. после высушивания), г;  
 $m_1 - m_2$  – масса испарившейся воды, г.

Полученные результаты заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Результаты определения влажности древесины

Показатель	№ образца	
	1	2
Масса образца до сушки $m_1$ , г		
Масса образца после сушки $m_2$ , г		
Масса испарившейся воды ( $m_1 - m_2$ ), г		
Влажность древесины $W$ , %		
Среднее арифметическое значение влажности, %		

Достоинством весового метода определения влажности являются большая точность при любом значении начальной влажности и относительная простота при наличии необходимого оборудования.

Недостаток метода – большая продолжительность сушки образцов (от 12 до 24 ч).

## Опыт №2. Определение влажности древесины влагомером ИВ-1

Измерение прибором проводится согласно инструкции по его эксплуатации.

Рабочей частью наиболее распространенного влагомера является датчик, представляющий собой ручку с тремя металлическими иглами. Иглы датчика вдавливают (погружают) до упора рукоятки в поверхность древесины (на глубину 3-4 мм) и включают прибор. На шкале указывается влажность древесины в процентах. Полученные результаты заносят в таблицу 3.2.

Достоинством измерения влажности влагомером являются оперативность и возможность проверки влажности лесоматериала или изделия из древесины любого размера. Недостаток состоит в том, что влагомер определяет влажность только в месте контакта иголок с древесиной (а не среднюю влажность по сечению материала). При влажности до 30 % погрешность измерения составляет 1,0...1,5 %, а при влажности более 30 % – 10 %.

Таблица 3.2

Результаты определения влажности древесины

Показатель	№ образца		
	1	2	3
Влажность образца древесины по прибору $W$ , %			
Среднее арифметическое значение влажности, %			

**Опыт №3. Определение линейной и объемной усушки**

Определение линейной и объемной усушки состоит в измерении размеров образцов в состоянии исходной влажности  $W$  и после высушивания. Измеряют максимальные размеры каждого образца в радиальном и тангенциальном направлениях, а также в направлении вдоль волокон.

Сушка образцов осуществляется в сушильном шкафу при температуре  $103 \pm 2$  °С. Далее измеряют образцы после высушивания и определяют линейную и объемную усушки.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Определение коэффициента линейной и объемной усушки

1	№ опыта	1	2
2	Наименование породы		
3	Влажность $W$ , %		
4	Размеры образца до высушивания: $a_1$ (в радиальном направлении), см $b_1$ (в тангенциальном направлении), см $c_1$ (в направлении вдоль волокон), см		
5	Объем образца до высушивания $V_1 = a_1 b_1 c_1$ , см <sup>3</sup>		
6	Размеры образца после высушивания $a_2$ (в радиальном направлении), см $b_2$ (в тангенциальном направлении), см $c_2$ (в направлении вдоль волокон), см		

Продолжение таблицы 3.3

7	Объем образца после высушивания $V_2=a_2b_2c_2$ , см <sup>3</sup>		
8	Линейная усушка в радиальном направлении $Y_P=(a_1-a_2)/a_2 \cdot 100\%$		
9	Среднее значение из двух определений:		
10	Линейная усушка в тангенциальном направлении $Y_m=(b_1-b_2)/b_2 \cdot 100\%$		
11	Среднее значение $Y_m$ из двух определений		
12	Коэффициент линейной усушки: а) в радиальном направлении $K_p=Y_P/W$		
13	Объемная усушка $V_O=(V_1-V_2)/V_2 \cdot 100\%$		
14	Среднее значение объемной усушки из двух определений		
15	Коэффициент объемной усушки $K_O=V_O/W$		

#### Опыт №4. Определение содержания поздней древесины в годичном слое и прочности неразрушающим методом

На плоскости поперечного среза ствола дерева (рис. 3.2) видны годичные кольца, каждое из которых состоит:

- из слоя ранней (весна-лето), светлоокрашенной, пористой, мало-прочной и недолговечной древесины;
- слоя поздней (лето-осень), темной за счет насыщения смолой, плотной, прочной и водостойкой древесины.

Рассматривая под микроскопом раннюю и позднюю древесину годичных колец, можно сделать вывод, что чем больше их в сечении поздней древесины, тем выше ее плотность  $\rho_0$  и, следовательно, прочность при сжатии  $R_{сж}$ .

Содержание поздней древесины можно приблизительно определить по ГОСТ 16483.18-72 следующим образом.

На гладко обработанной плоскости поперечного среза древесины проводят линию по радиальному направлению (перпендикулярно к касательным к годичным кольцам) и на ней отмечают отрезок длиной  $l$ , например, 30 мм (но не менее 20 мм). На этом отрезке с помощью измерителя под лупой или микроскопом замеряют ширину каждого слоя поздней древесины (темные участки) в каждом годичном кольце ( $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ ) (см. рис. 3.2).

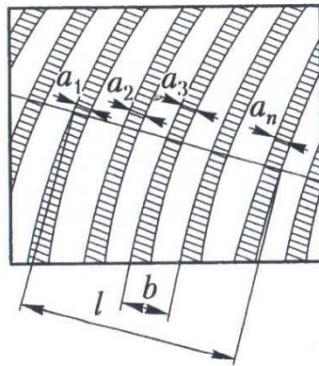


Рисунок 3.2 – Поперечный разрез ствола дерева

Все измеренные величины (мм) в годичном кольце поздней древесины суммируют ( $\sum a_i$ ) и вычисляют содержание поздней древесины  $m$  по формуле:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{l} \cdot 100, \% \quad (3.2)$$

где  $\sum_{i=1}^n a_i$  - общая ширина зон поздней древесины, см;

$l$  – протяжение годичных колец по радиальному направлению, см.

$$\sum_{i=1}^n a_i = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n \quad (3.3)$$

Средняя плотность древесины  $\rho_0$  зависит от породы дерева и его пористости. С увеличением плотности прочность древесины возрастает. Именно эти зависимости положены в основу эмпирических формул для расчета прочности древесины при сжатии вдоль волокон (Мпа), которые были получены в результате обобщения большого объема экспериментальных данных. Эти формулы позволяют ориентировочно оценить прочность древесины:

- по содержанию поздней древесины  $m$ ;
- по величине средней плотности древесины при стандартной влажности  $\rho_0^{12}$ .

Прочность древесины при сжатии  $R_{сж}^{12}$  при стандартной влажности рассчитывают по формулам:

$$R_{сж}^{12} = A \cdot m + B \quad (3.4)$$

$$R_{сж}^{12} = C \cdot \rho_{cp}^{12} + D \quad (3.5)$$

где  $A, B, C, D$  – эмпирические коэффициенты (табл. 3.4);

$m$  – содержание поздней древесины, %;

$\rho_{cp}^{12}$  – средняя плотность древесины при стандартной влажности,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Таблица 3.4

Значение эмпирических коэффициентов для ориентировочной оценки прочности древесины при сжатии вдоль волокон при  $W=12 \%$

Породы	A	B	C	D
Лиственные	0,32	30,0	68,0	-
Хвойные	0,6	30,0	61,0	10,0

Результаты испытания следует записать в таблицу 3.5.

Таблица 3.5

Результаты определения содержания поздней древесины  
в годичных кольцах (порода \_\_\_\_\_)

Показатель	№ образца		
	1	2	3
Общая длина отрезка $l$ по радиальному направлению на плоскости поперечного разреза, мм			
Суммарная ширина частей поздней древесины в годичных кольцах $\sum a_i$ , мм			
Содержание поздней древесины $m$ , %			
Ориентировочный предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон $R_{сж}^{12}$ , МПа			

Для древесины сосны предел прочности при сжатии вдоль волокон можно вычислить по формуле:

$$R_{сж}=0,6m+30, \text{ Мпа} \quad (3.6)$$

#### 4 Лабораторная работа №3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Строительным гипсом называют воздушное вяжущее вещество, получаемое путем термической обработки природного двуводного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) при температуре 150-180 °С до превращения его в полуводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ ) с измельчением в тонкий порошок до или после обработки. Строительный гипс применяют для изготовления строительных деталей и изделий, а также для штукатурных работ.

При испытании гипса определяют тонкость помола, нормальную густоту и сроки схватывания гипсового теста, предел прочности при изгибе и сжатии.

#### Опыт №1. Определение нормальной густоты гипсового теста

Нормальную густоту гипсового теста определяют при помощи вискозиметра Суттарда (рис. 4.1), представляющего собой медный или латунный цилиндр, имеющий высоту 10 см и внутренний диаметр 5 см. цилиндр должен иметь хорошо отполированные внутреннюю поверхность и место соприкосновения со стеклом, на которое его устанавливают при проведении опыта. На стекле или на бумаге под стеклом наносят ряд концентрических окружностей диаметром от 6 до 20 см, причем окружности диаметром до 14 см наносят через 1 см, а остальные – через 2 см. перед испытанием цилиндр и стекло слегка смачивают чистой водой. Стеклянную пластинку кладут строго горизонтально, а цилиндр устанавливают в центре концентрических окружностей.

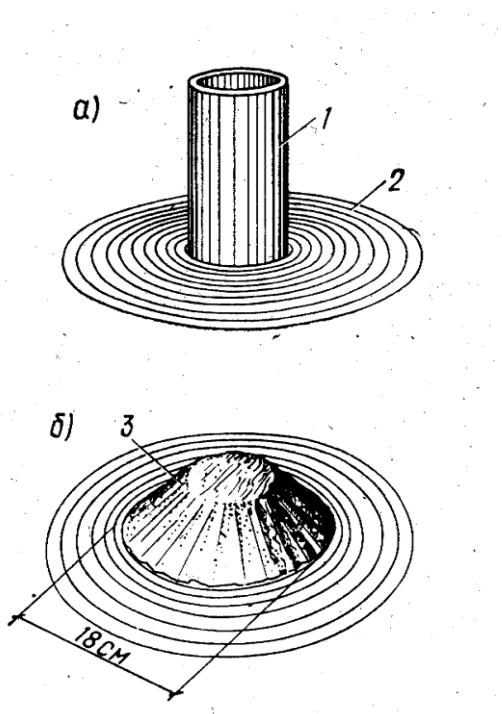


Рисунок 4.1 - Вискозиметр Суттарда

а – в собранном виде; б – расплыв лепешки из гипсового теста;

1 – латунный цилиндр; 2 – стеклянная пластина с концентрическими окружностями; 3 – лепешка из гипсового теста нормальной густоты.

Для определения нормальной густоты теста отвешивают 300 г гипса, всыпают его в сферическую чашку с заранее отмеренным количеством воды в пределах 150-200 мл и лопаточкой быстро размешивают снизу вверх в течении 30 с до тех пор, пока не получится однородная масса, которую оставляют на 1 мин в спокойном состоянии. Затем, сделав два резких перемешивания, выливают в цилиндр и заглаживают поверхность (на все это затрачивают не более 30 с). После этого цилиндр быстрым и строго вертикальным движением поднимают вверх; при этом тесто разливается на стекле в конусообразную лепешку (рис. 4.1, б), средний диаметр которой характеризует консистенцию гипсового теста.

Таблица 4.1

Определение нормальной густоты гипсового теста

№ опыта	Масса гипсового вяжущего $m_{г.в}$ , г	Масса воды $m_в$ , г	Диаметр расплыва, см	Нормальная густота НГ, %
1				
2				
3				
4				

Если тесто образовало лепешку диаметром 18 см, значит оно обладает нормальной густотой. В том случае, когда во время испытания диаметр лепешки из гипсового теста будет более 18 см, опыт повторяют с меньшим количеством воды (на 1-2 %); если диаметр окажется меньше 18 см, то опыт повторяют с большим количеством воды.

Нормальную густоту гипсового теста выражают числом кубических сантиметров воды, приходящихся на 100 г гипса.

### **Опыт №2. Определение сроков схватывания гипсового теста**

Для определения сроков схватывания гипсового теста используют стандартный прибор Вика (рис. 4.2), который состоит из станины 1, подвижного металлического стержня 2 с площадкой 3 для добавочного груза, латунного кольца в виде усеченного конуса 8, стеклянной пластинки 9. Для закрепления стержня на требуемой высоте служит зажимный винт 6. Стержень снабжен указательной стрелкой 4 для отсчета перемещения его относительно прикрепленной к станине шкалы 5 с делениями от 0 до 40 мм. В нижней части подвижного стержня закрепляют стальную иглу 7 диаметром 1 мм и длиной 50 мм.

Перед началом испытания проверяют свободное падение металлического стержня, чистоту иглы, положение стрелки, которая должна быть на нуле, если игла упирается в пластинку. Масса стержня с иглой составляет 120 г. кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

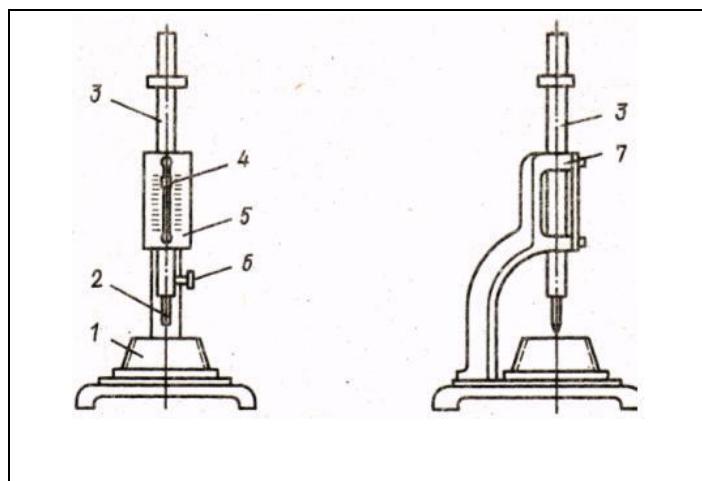


Рисунок 4.2 - Прибор Вика

Для определения сроков схватывания отвешивают 200 г гипса, равномерно всыпают его в воду, количество которой соответствует нормальной густоте теста, и перемешивают массу в течение 30 с. Приготовленное тесто быстро вливают в кольцо прибора, установленное на стекле. Избыток теста срезают и поверхность заглаживают ножом. Затем кольцо помещают под иглу прибора, приводят ее в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом; затем иглу через каждые 30 с опускают в

гипсовое тесто так, чтобы каждый раз она погружалась в новое место. После извлечения из теста иглу тщательно вытирают. Глубину погружения иглы в гипсовое тесто фиксируют по показанию стрелки, расположенной на подвижном стержне, и ее значение заносят в журнал для лабораторных работ.

Таблица 4.2

Определение сроков схватывания гипсового теста

1	Масса гипсового вяжущего $m_{\text{г.в.Г}}$	
2	Масса воды $m_{\text{в.}}$ , г	
3	Показание прибора, мм через время $t$ , мин	
	$t_1 =$ , $t_2 =$ , $t_3 =$	
	$t_4 =$ , $t_5 =$ , $t_6 =$	
	$t_7 =$ , $t_8 =$ , $t_9 =$	
	$t_{10} =$ , $t_{11} =$ , $t_{12} =$	
	$t_{13} =$ , $t_{14} =$ , $t_{15} =$	
4	Начало схватывания $t$ , мин	
5	Конец схватывания $t$ , мин	

По полученным значениям определяют два момента: начало и конец схватывания. Началом схватывания считают промежуток времени от момента затворения гипсового теста (всыпания гипса в воду) до момента, когда игла не доходит до дна пластиинки на 0,5 мм. Концом схватывания считают промежуток времени от момента затворения гипсового теста до момента погружения иглы в тесто не более чем на 0,5 мм.

Сроки схватывания испытуемого гипсового теста заносят в журнал для лабораторных работ и сравнивают с требованиями стандарта.

По таблице 4.3 определяется группа строительного гипса по срокам схватывания.

Таблица 4.3

Группы строительного гипса по срокам схватывания

Вид гипса	Начало схватывания	Конец схватывания
Быстротвердеющий (А)	Не ранее 2 мин	Не позднее 15 мин
Нормальновердеющий (Б)	Не ранее 6 мин	Не позднее 30 мин
Медленновердеющий (В)	Не ранее 20 мин	Не нормируется

## 5 Лабораторная работа №4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕТОНОВ

#### Опыт №1. Определение гранулометрического состава песка

Зерновой (гранулометрический) состав песка имеет большое значение для получения тяжелого бетона заданной марки при минимальном расходе цемента. В тяжелом бетоне песок служит для заполнения пустот между зернами крупного заполнителя, в то же время все пустоты между зернами песка должны быть заполнены цементным тестом. Кроме того, этим же тестом должны быть покрыты и поверхности всех частиц. Для уменьшения расхода цементного теста следует применять пески с малой пустотностью и наименьшей суммарной поверхностью частиц. Крупный песок имеет небольшую поверхность зерен, но значительную пустотность. Мелкий же, наоборот, обладает меньшей пустотностью, но очень большой суммарной поверхностью зерен. Поэтому лучшими являются крупные пески, содержащие оптимальное количество средних и мелких частиц. Применение таких песков обеспечивает получение бетона плотной структуры при наименьшем расходе цемента.

Зерновой состав песка характеризуется процентным содержанием в нем зерен различного размера. Для определения зернового состава песка применяют ситовой анализ. Среднюю пробу песка массой 2 кг высушивают, а затем просеивают сквозь сита с круглыми отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Полученные на ситах остатки взвешивают и определяют с точностью до 0,1 % содержание в песке зерен крупностью 5-10 ( $Gr_5$ ) и выше 10 мм ( $Gr_{10}$ ) по формулам:

$$Gr_5 = \frac{m_5}{m} \cdot 100 \quad (5.1)$$

$$Gr_{10} = \frac{m_{10}}{m} \cdot 100, \quad (5.2)$$

где  $Gr_5$  и  $Gr_{10}$  – содержание в песке зерен крупностью 5-10 мм и выше 10 мм, %;

$m$  – масса пробы, г;

$m_5$  и  $m_{10}$  – остатки на ситах с круглыми отверстиями, равными соответственно 5 и 10 мм, г.

Из пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску 1000 г и просеивают ее ручным или механическим способом через комплект сит, последовательно расположенных по мере уменьшения размера отверстий в ситах (сита с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм, ниже сита с сетками, имеющими квадратные отверстия размером 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм). Просеивание считается законченным, если через сито на чистый лист бумаги за 1 мин проходит не более 0,1 % зерен песка от общей массы просеиваемой навески.

Остатки песка на каждом сите взвешивают и вычисляют частные остатки на каждом сите с точностью до 0,1 % по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (5.3)$$

где  $a_i$  – частный остаток, %;

$m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса просеиваемой навески, г (1000 г).

Затем с точностью до 0,1 % определяют полные остатки на каждом сите.

Полный остаток  $A_i$ , %, определяют как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i, \quad (5.4)$$

где  $a_{2,5} + \dots + a_i$  – частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная с сита, имеющего размер отверстий 2,5 мм, %;

$a_i$  – частный остаток на данном сите, %.

Для оценки зернового состава песка и его пригодности для приготовления бетона результаты просеивания (по полным остаткам) наносят на график (рис. 5.1) .

На графике по оси абсцисс в определенном масштабе откладывают размеры отверстий на ситах с сеткой № 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 и 5, а по оси ординат – значения полных остатков на соответствующих ситах, выраженные в процентах. Полученные точки соединяют ломаной линией. Если кривая, характеризующая зерновой состав испытуемого песка, располагается в заштрихованной части графика, то такой песок признают годным для приготовления бетона.

Если кривая располагается выше заштрихованной части, то песок считается мелким, а если ниже – крупным.

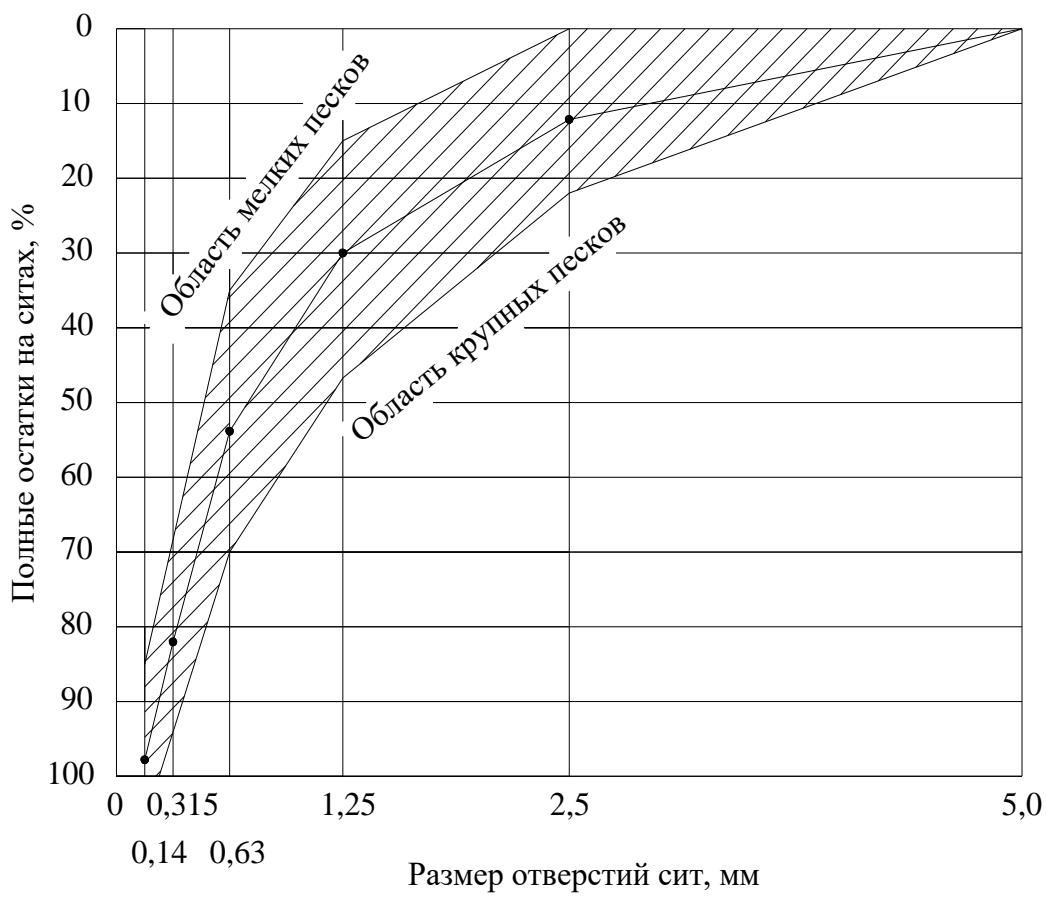


Рисунок 5.1 – График зернового состава песка

Кроме того, в песке для бетонов и растворов не допускается наличие зерен размером более 10 мм; зерен размером от 5 до 10 мм не должно быть более 5% по массе; мелких частиц, прошедших через сито № 014, не должно превышать 10%.

Зерновой состав песка характеризуется также модулем крупности  $M_k$ , который вычисляют с точностью до 0,1 по формуле:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}, \quad (5.5)$$

где  $A_{2,5}; A_{1,25}; A_{0,63}; A_{0,315}; A_{0,14}$  – полные остатки на ситах, %.

По модулю крупности и другим показателям зернового состава пески для тяжелого бетона подразделяют на группы, приведенные в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Классификация песков по крупности

Группа песка	Полный остаток на сите с сеткой № 0,63, % по массе	Модуль крупности, $M_k$	Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	Прошло через сито с сеткой № 0,14, % по массе, не более
Крупный	Более 50	Более 2,5	-	10
Средний	35-50	2,5-2	-	10
Мелкий	-	Менее 2	100-200	15
Очень мелкий	-	-	201-300	20

Для выполнения данной лабораторной работы подгруппу учащихся разбивают на бригады по три-четыре человека и каждая бригада определяет зерновой состав песка. Учащиеся каждой бригады рассеивают пробу на наборе стандартных сит, после чего рассчитывают частные и полные остатки на ситах в процентах, а также вычисляют модуль крупности песка. Результаты заносят в таблицу журнала для лабораторных работ (табл. 5.2). В этом же журнале по полученным результатам каждый учащийся строит график зернового состава испытанного песка. Для сравнения рекомендуется наносить на график кривые состава песков, испытанных учащимися смежных бригад.

Таблица 5.2

Определение гранулометрического состава песка

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток		Полный остаток $A_i, \%$
	$m_i, \text{ г}$	$a_i, \%$	
5			
2,5			
1,25			
0,63			
0,315			
0,14			
$\geq 0,14$			

## Опыт №2. Определение гранулометрического состава щебня

Зерновой состав крупного заполнителя (щебня или гравия) в значительной мере влияет на качество приготовленного на нем бетона. При выборе зернового состава крупного заполнителя для бетона необходимо исходить из основного требования: получить наименьший расход цемента в бетоне заданной марки.

В зависимости от размера зерен щебень (гравий) подразделяют на следующие фракции: 5-10; 10-20; 20-40 и 40-70 мм. В каждой фракции гравия или щебня должны быть зерна всех размеров от наибольшего до наименьшего для данной фракции.

Для определения зернового (гранулометрического) состава крупного заполнителя от партии его отбирают среднюю пробу 5 кг при наибольшей крупности его 10 мм; 10 кг – до 20 мм; 20 кг – до 40 мм; 30 кг – до 70 мм и 50 кг – свыше 70 мм. Пробу щебня (гравия) просеивают через набор сит установленных размеров (70, 40, 25, 20, 15, 10, 5, 3 и 0,14 мм), собранных в колонку, и одновременно промывают водой. При этом толщина слоя щебня (гравия) на каждом из сит не должна превышать наибольшего размера зерен отсеиваемой на данном сите фракции.

Пробу крупного заполнителя, сильно загрязненного глинистыми и илистыми примесями, предварительно замачивают в воде и сливают эту воду на верхнее сито набора вместе со щебнем (гравием) и с осадком глины. Частицы, прошедшие вместе с водой через сито с отверстиями размером 0,14 мм, отбрасывают. Остатки щебня (гравия) на каждом сите высушивают до постоянной массы и взвешивают, определяя тем самым массу частных остатков на всех ситах. Затем определяют суммарную массу просеянной пробы как сумму частных остатков на каждом сите  $\Sigma m$ , кг:

$$\Sigma m = m_{0,14} + m_3 + m_5 + \dots + m_{70}, \quad (5.6)$$

где  $m_{0,14} + m_3 + m_5 + \dots + m_{70}$  – частные остатки на ситах с отверстиями, обозначенными индексами, кг.

В том случае, когда образовался остаток на сите с отверстиями диаметром 70 мм, определяют также необходимый для построения кривой просеивания предельный размер зерен щебня (гравия), используя проволочные кольца-калибры различного диаметра – 100, 120 мм или более в зависимости от крупности зерен.

Далее вычисляют частные остатки на каждом сите  $a_i$ , % суммарной массы просеянной пробы:

$$a_i = \frac{m_i}{\Sigma m} \cdot 100, \quad (5.7)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, кг;

$\Sigma m$  – сумма частных остатков на всех ситах, кг.

По известным значениям частных остатков рассчитывают полные остатки  $A_i$ , %, на каждом сите по формуле:

$$A_i = a_{70} + \dots + a_i, \quad (5.8)$$

где  $a_{70} + \dots + a_i$  – частные остатки на всех ситах с большими размерами отверстий плюс остаток на данном сите, %.

Затем устанавливают наибольшую  $D_{наиб}$  и наименьшую  $D_{наим}$  крупность зерен щебня (гравия). За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстия того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5%, а за наименьшую крупность – размер отверстия нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 95%. Кроме того, вычисляют значения 0,5 ( $D_{наиб}+D_{наим}$ ) и  $1,25 D_{наиб}$ .

Качество зернового состава щебня (гравия) оценивают значением полных остатков в процентах на ситах с контрольными отверстиями  $D_{наим}$ ,  $0,5(D_{наим}+D_{наиб})$ ,  $D_{наиб}$  и  $1,25 D_{наиб}$ . Откладывая на графике (рис. 5.2) по оси ординат эти значения, получают четыре точки, которые соединяют ломаной линией.

Щебень (гравий) признают пригодным по зерновому составу для приготовления бетона, если кривая его зернового состава располагается в заштрихованной части графика.

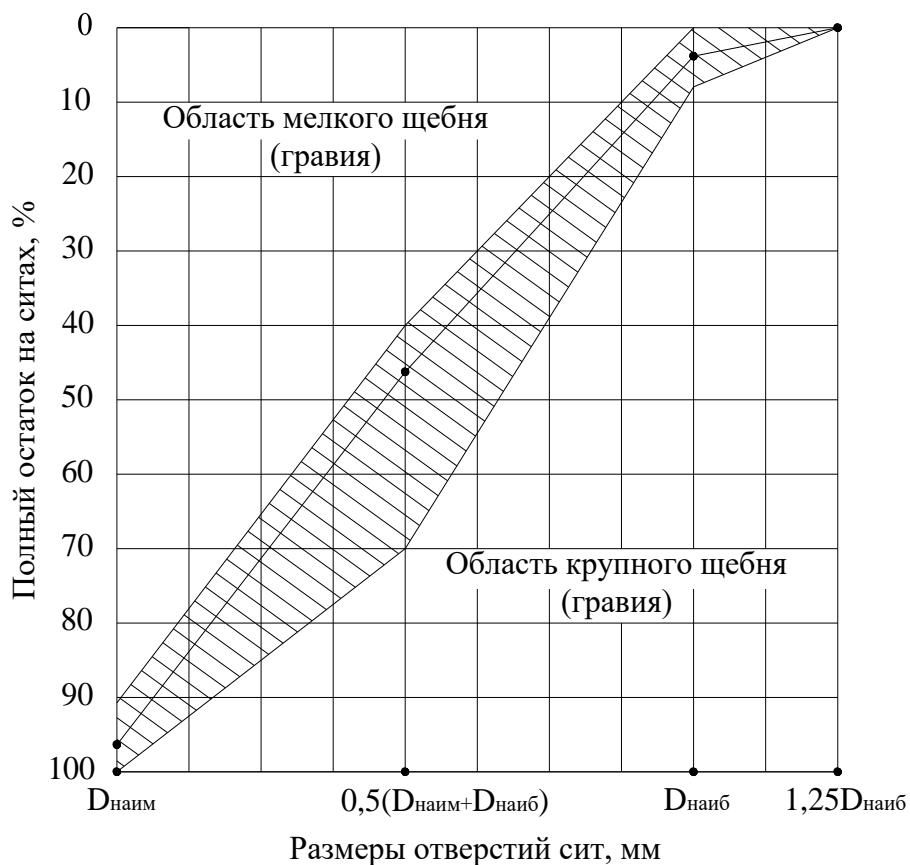


Рисунок 5.2 – График зернового состава щебня (гравия)

Для выполнения данной лабораторной работы подгруппу учащихся разбивают на бригады по три-четыре человека, и каждая бригада определяет зерновой состав щебня (гравия). Подлежащий испытанию щебень (гравий) не должен иметь на зернах примесей глины и быть сильно загрязнен пылью. При этом условии можно отказаться от промывания заполнителя водой. Пробу щебня (гравия) с наибольшей крупностью зерен 40 и 70 мм, высушеннную до постоянной массы, просеивают на наборе стандартных сит, после чего рассчитывают

частные и полные остатки на ситах в процентах и результаты заносят в таблицу журнала для лабораторных работ (табл. 5.3). Затем каждый учащийся наносит на график полные остатки на ситах с размерами отверстий  $D_{наим}$ ,  $0,5(D_{наим}+D_{наиб})$ ,  $D_{наиб}$  и  $1,25 D_{наиб}$ , соединяет полученные точки ломаной линией и оценивает пригодность щебня (гравия) для приготовления бетона.

Для сравнения рекомендуется наносить на график кривые зернового состава щебня (гравия), испытанных учащимися смежных бригад.

*Таблица 5.3*  
Определение гранулометрического состава щебня

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток		Полный остаток $A_i, \%$
	$m_i, \text{ г}$	$a_i, \%$	
80			
60			
40			
30			
20			
10			
5			

$$D_{наим} =$$

$$D_{наиб} =$$

### Опыт №3. Определение пустотности щебня

Для испытания берется мерный сосуд объемом  $1000 \text{ см}^3$ . Сосуд заполняется гравием полностью по объему сосуда. Сосуд взвешивается, масса записывается в таблицу. Затем сосуд с гравием заливается водой до верха и повторно взвешивается. Значение записывается в таблицу. Затем вычисляется пустотность щебня по формуле:

$$V_{n.\psi(z)} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (5.9)$$

где  $m_2$  – масса сосуда с гравием и водой, г;

$m_1$  – масса сосуда с гравием, г;

$V$  – объем сосуда,  $\text{см}^3$ .

*Таблица 5.4*

Определение пустотности щебня

1	Масса сосуда с гравием – $m_1, \text{ г}$	
2	Объем сосуда – $V, \text{ см}^3$	
3	Масса сосуда с гравием и водой – $m_2, \text{ г}$	
4	Пустотность: $V_{n.\psi(z)} = \frac{m_2 - m_1}{V}$	

## 6 Лабораторная работа № 5

### РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Подбор состава тяжелого (обычного) бетона заключается в установлении наиболее рационального соотношения между составляющими бетон материалами (цементом, водой, песком, щебнем или гравием).

Состав бетона выражают расходом всех составляющих материалов по массе на 1 м<sup>3</sup> уложенной и уплотненной бетонной смеси или же отношением массы составляющих материалов смеси к массе цемента, принимаемой за единицу, т. е. 1:x:y (цемент : песок : щебень или гравий) при  $B/\Gamma = z$ .

Различают два состава бетона: номинальный (лабораторный), рассчитанный для материалов в сухом состоянии, и производственный (полевой) – для материалов в естественно-влажном состоянии.

Для расчета состава тяжелого бетона необходимо иметь следующие данные: заданную марку бетона  $R_b$ ; требуемую удобоукладываемость бетонной смеси, определяемую осадкой конуса ОК, см; вид и активность цемента  $R_{\Gamma}$ ; объемную насыпную массу составляющих  $\rho_{n.\Gamma}$ ,  $\rho_{n.p}$ ,  $\rho_{n.\text{щ(г)}}$ ; и их плотность  $\rho_{\Gamma}$ ,  $\rho_p$ ,  $\rho_{\text{щ(г)}}$ ; пустотность щебня или гравия  $V_{n.\text{щ(г)}}$ ; наибольшую крупность зерен щебня (гравия); влажность заполнителей  $W_n$ ,  $W_{\text{щ(г)}}$ .

Состав бетона рассчитывается в следующей последовательности:

1 Водоцементное отношение  $B/\Gamma$  вычисляют исходя из требуемой марки бетона, активности цемента и с учетом вида и качества составляющих по следующим формулам:

– для бетонов с водоцементным отношением  $B/\Gamma \geq 0,4$

$$R_b = AR_{\Gamma} \left( \frac{U}{B} - 0,5 \right); \quad (6.1)$$

для бетонов с водоцементным отношением  $B/\Gamma < 0,4$

$$R_b = AR_{\Gamma} \left( \frac{U}{B} + 0,5 \right); \quad (6.2)$$

где  $R_b$  – марка бетона, кгс/см<sup>2</sup>;

$R_{\Gamma}$  – активность цемента, кгс /см<sup>2</sup>;

$A$  – коэффициент, учитывающий качество материалов,  $A = 0,55 \div 0,65$ .

После преобразования относительно  $B/\Gamma$  приведенные выше формулы имеют следующий вид:

$$\frac{B}{\Gamma} = \frac{AR_{\Gamma}}{R_b + 0,5AR_{\Gamma}} \quad \text{или} \quad \frac{B}{\Gamma} = \frac{AR_{\Gamma}}{R_b - 0,5AR_{\Gamma}}. \quad (6.3)$$

2 Расход воды (водопотребность в л/м<sup>3</sup>) ориентировочно определяют исходя из заданной удобоукладываемости бетонной смеси по табл. 6.1, которая составлена с учетом вида и крупности зерен заполнителя.

Таблица 6.1

Водопотребность бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды, кг/м <sup>3</sup> , при наибольшей крупности заполнителя					
Осадка конуса, см	Жесткость, с	гравия			щебня		
		10	20	40	10	20	40
0	150–200	145	130	120	155	140	130
0	90–120	150	135	125	160	145	135
0	60–80	160	145	130	170	155	145
0	30–50	165	150	135	175	160	150
0	15–30	175	160	145	185	170	155
1–2	-	185	170	155	195	180	165
3–4	-	195	180	165	205	190	175
5–6	-	200	185	170	210	195	180
7–8	-	205	190	175	215	200	185
9–10	-	215	200	185	225	210	195

*Примечание.* Данные таблицы справедливы для бетонной смеси на портландцементе и песке средней крупности. При применении пущоланового портландцемента расход воды увеличивают на 20 кг/м<sup>3</sup>; при использовании мелкого песка взамен среднего расход воды также увеличивают на 10 кг, а при использовании крупного песка – уменьшают на 10 кг.

3 Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона вычисляют по формуле:

$$\mathcal{C} = \frac{B}{B/\mathcal{C}}. \quad (6.4)$$

4 Расход заполнителей (песка, щебня или гравия) в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона вычисляют, исходя из двух условий:

Во-первых, сумма абсолютных объемов всех компонентов бетона равна 1 м<sup>3</sup> уплотненной бетонной смеси, т. е.

$$\frac{\mathcal{C}}{\rho_{\mathcal{C}}} + \frac{B}{\rho_B} + \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} + \frac{\mathcal{W}(\Gamma)}{\rho_{\mathcal{W}(\Gamma)}} = 1, \quad (6.5)$$

где  $\mathcal{C}$ ,  $B$ ,  $\Pi$ ,  $\mathcal{W}(\Gamma)$  – расход цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\mathcal{C}}, \rho_B, \rho_{\mathcal{W}(\Gamma)}$  – плотность этих материалов, кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{\mathcal{C}}{\rho_{\mathcal{C}}}, \frac{B}{\rho_B}, \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}}, \frac{\mathcal{W}(\Gamma)}{\rho_{\mathcal{W}(\Gamma)}}$  – абсолютные объемы материалов, м<sup>3</sup>.

Во-вторых, цементно-песчаный раствор заполнит пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен, т. е.

$$\frac{I}{\rho_I} + \frac{B}{\rho_B} + \frac{\Pi}{\rho_\Pi} = V_{\Pi, \text{Щ}(\Gamma)} \frac{\text{Щ}(\Gamma)}{\rho_{H, \text{Щ}(\Gamma)}} \alpha, \quad (6.6)$$

где  $V_{\Pi, \text{Щ}(\Gamma)}$  – пустотность щебня (гравия) в рыхлом состоянии ;  
 $\rho_{H, \text{Щ}(\Gamma)}$  – объемная масса щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>;  
 $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия) – находится по таблице:

Таблица 6.2

Оптимальные значения коэффициента раздвижки зерен в зависимости от расхода цемента и вида крупного заполнителя

Расход цемента, кг на 1 м <sup>3</sup> бетона	Щебень	Гравий
200	1,25	1,30
250	1,30	1,37
300	1,35	1,42
350	1,43	1,50
400	1,48	1,57

Решая совместно эти два уравнения, находят формулы для определения расхода щебня (гравия) в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$\text{Щ}(\Gamma) = \frac{1}{\frac{V_{\Pi, \text{Щ}(\Gamma)}}{\rho_{H, \text{Щ}(\Gamma)}} \alpha + \frac{1}{\rho_{\text{Щ}(\Gamma)}}}. \quad (6.7)$$

После определения расхода щебня (гравия) рассчитывают расход песка в кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\Pi = \left[ 1 - \left( \frac{I}{\rho_I} + \frac{B}{\rho_B} + \frac{\text{Щ}(\Gamma)}{\rho_{\text{Щ}(\Gamma)}} \right) \right] \rho_\Pi. \quad (6.8)$$

5 Определив расход компонентов  $I$ ,  $B$ ,  $\Pi$ ,  $\text{Щ}(\Gamma)$  на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, вычисляют ее расчетную объемную массу:

$$\rho_{0,6, \text{см}} = I + B + \Pi + \text{Щ}(\Gamma), \text{ кг/м}^3. \quad (6.9)$$

6 Определяют коэффициент выхода бетона  $\beta$  на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси в уплотненном состоянии на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление, по формуле:

$$\beta = \frac{1}{V_I + V_\Pi + V_{\text{Щ}(\Gamma)}} = \frac{1}{\frac{I}{\rho_{H,I}} + \frac{\Pi}{\rho_{H,\Pi}} + \frac{\text{Щ}(\Gamma)}{\rho_{H,\text{Щ}(\Gamma)}}}, \quad (6.10)$$

где  $V_I$ ,  $V_\Pi$ ,  $V_{\text{Щ}(\Gamma)}$  – объем сухих составляющих, затраченных на приготовление 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, м<sup>3</sup>;

$I$ ,  $\Pi$ ,  $\text{Щ}(\Gamma)$  – расход сухих материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;

$\rho_{H,I}$ ,  $\rho_{H,\Pi}$ ,  $\rho_{H,\text{Щ}(\Gamma)}$  – объемная насыпная масса сухих материалов, кг/м<sup>3</sup>.

Значение коэффициента выхода бетона  $\beta$  обычно находится в пределах 0,55–0,75.

7 Определяют производственный (полевой) состав бетона, принимая во внимание влажность заполнителей (песка и щебня), в связи с чем необходимое количество воды уменьшают:

$$B^1 = B - [(\Pi_B - \Pi) + (\Psi_B - \Psi)]. \quad (6.11)$$

При этом количество заполнителей соответственно увеличивают:

$$\Pi_{вл} = \Pi \left( 1 + \frac{W_{\Pi}}{100} \right); \quad (6.12)$$

$$\Psi_{вл} = \Psi \left( 1 + \frac{W_{\Psi}}{100} \right). \quad (6.13)$$

8 Производственный (полевой) состав бетона по массе вычисляют путем деления расхода каждого компонента бетонной смеси на расход цемента:

$$\frac{\Pi}{\Pi} : \frac{\Pi}{\Pi} : \frac{\Psi(\Gamma)}{\Pi} = 1 : \frac{\Pi}{\Pi} : \frac{\Psi(\Gamma)}{\Pi}; \quad (6.14)$$

по объему состав бетона выражают следующим образом:

$$\frac{V_{\Pi}}{V_{\Pi}} : \frac{V_{\Pi}}{V_{\Pi}} : \frac{V_{\Psi(\Gamma)}}{V_{\Pi}} = 1 : \frac{V_{\Pi}}{V_{\Pi}} : \frac{V_{\Psi(\Gamma)}}{V_{\Pi}}, \quad (6.15)$$

где  $\Pi$ ,  $\Pi$ ,  $\Psi(\Gamma)$  – расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по массе, кг;

$V_{\Pi}$ ,  $V_{\Pi}$ ,  $V_{\Psi(\Gamma)}$  – расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по объему, м<sup>3</sup>.

Исходные данные для расчета берутся у преподавателя и записываются в виде таблицы.

Таблица 6.3

Исходные данные

№ п/п	Наименование	Обозначение	Ед. изм	Величина
1	Марка бетона	$R_b$	-	
2	Удобоукладываемость бетонной смеси	ОК (Ж)	см (сек)	
3	Вид цемента	-	-	
4	Активность (марка) цемента	$R_{\Pi}$	-	
5	Истинная плотность: цемента песка щебня	$\rho_c$ $\rho_s$ $\rho_{sh}$	г/см <sup>3</sup>	
6	Средняя плотность: цемента песка щебня	$\rho_{n.c.}$ $\rho_{n.s.}$ $\rho_{n.sh.(\varepsilon)}$	г/см <sup>3</sup>	
7	Пустотность щебня (гравия)	$V_{n.sh.(\Gamma)}$	-	

Продолжение таблицы 6.3

8	Наибольшая крупность зерен щебня (гравия)	$D_{\max}$	мм	
9	Влажность: песка щебня (гравия)	$W_p$ $W_{\text{ш(г)}}$	% %	
10	Коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия)	$\alpha$	-	
11	Модуль крупности песка	$M_k$	-	

## 7 Лабораторная работа №6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БИТУМОВ

#### Опыт № 1. Определение вязкости битума

Приборы и оборудование:

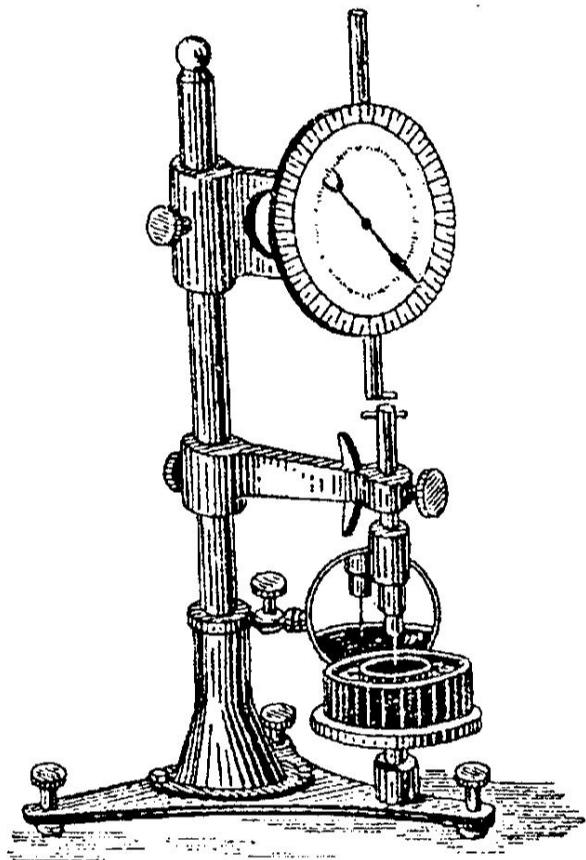


Рис. 12.3. Прибор для определения глубины проникания иглы

Таблица 7.1  
Определение вязкости

№	Отчеты по циферблату в десятых долях, мм			Среднее значение глубины проникания их трех опытов
	1 опыт	2 опыт	3 опыт	
	до	после		
	Опыта	Опыта	опыта	
1				
2				

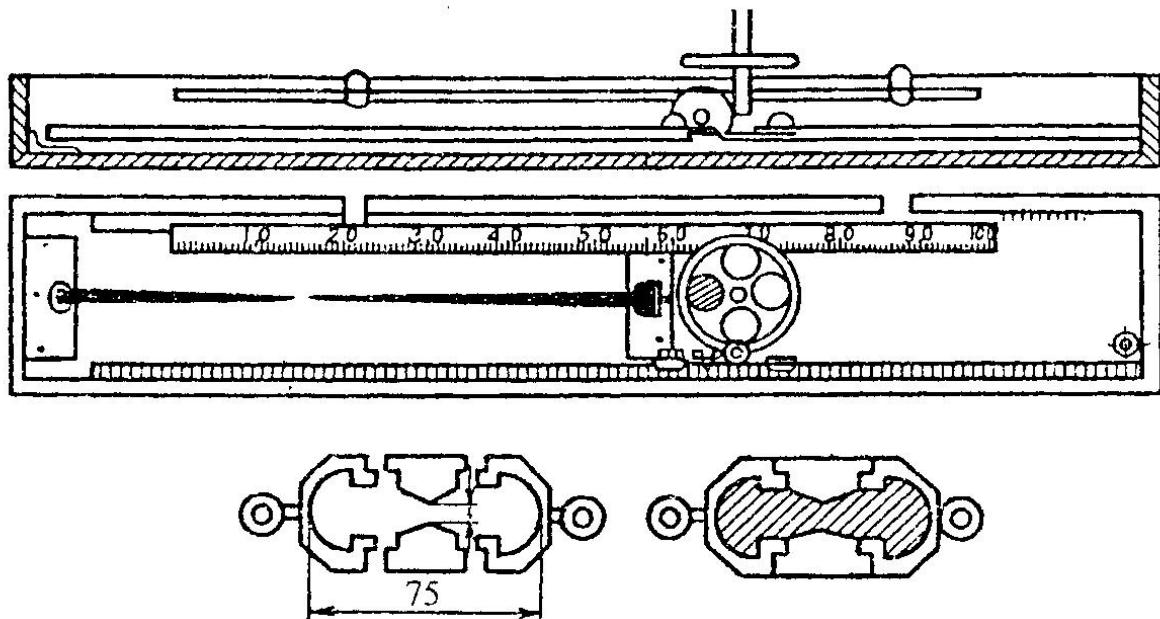


Рис. 12.5. Прибор для определения растяжимости

**Опыт № 2. Определение температуры размягчения**

Таблица 7.2  
Определение температуры размягчения

№	Температура размягчения		Среднее значение из двух определений
	1 кольцо	2 кольцо	
1			
2			

### Опыт № 3. Определение растяжимости

Таблица 7.3

#### Определение растяжимости

№	Длина нити в см			Средняя растяжимость битума в см
	1 восьмерка	2 восьмерка	3 восьмерка	
1				
2				

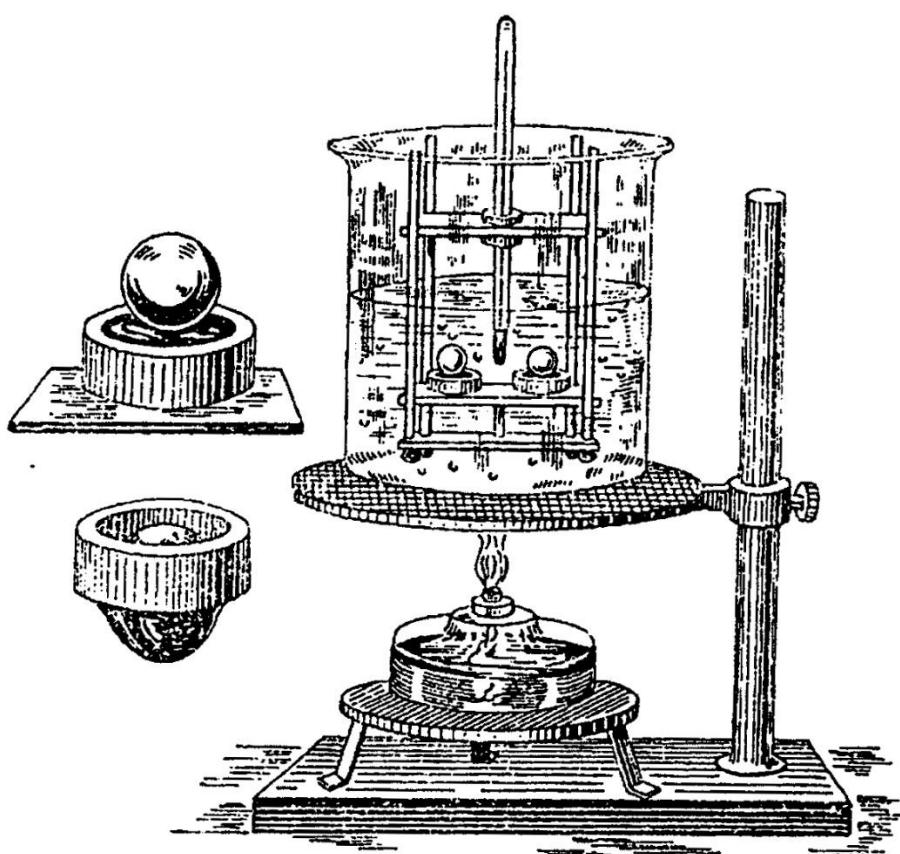


Рис. 12.6. Прибор «Кольцо и шар» для определения температуры размягчения (КиШ)

Контрольные вопросы и задания:

1. Каковы состав и структура битумов?
2. Назовите основание свойства битумов.
3. Подберите состав сплав битумов  $l_0$  с температурой размягчения  $t_1=40^\circ\text{C}$  и  $t_2=25^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\Gamma_\phi &= (t_p - t_m) / (t_\phi - t_m) \cdot \Gamma_m \\ \Gamma_\phi &= 100 - \Gamma_m, \%\end{aligned}$$

## **8 Лабораторная работа №7**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ**

Для оценки характера коррозионного процесса и степени воздействия агрессивных сред различают три основных вида коррозии бетона.

К I виду относятся все процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии жидких сред (водных растворов), способных растворять компоненты цементного камня. Составные части цементного камня растворяются и выносятся из цементного камня.

Ко II виду коррозии относятся процессы, при которых происходят химические взаимодействия - обменные реакции - между цементным камнем и раствором, в том числе обмен катионами. Образующиеся продукты реакции или легкорастворимы и выносятся из структуры в результате диффузии или фильтрационным потоком, или отлагаются в виде аморфной массы, не обладающей вяжущими свойствами и не влияющей на дальнейший разрушительный процесс.

Такой вид коррозии представляют процессы, возникающие при действии на бетон растворов кислот и некоторых солей.

К III виду коррозии относятся все те процессы коррозии бетона, в результате которых продукты реакции накапливаются и кристаллизируются в порах и капиллярах бетона. На определенной стадии развития этих процессов рост кристаллообразований способствует возникновению растущих по величине напряжений и деформаций в ограждающих стенах, а затем и разрушению структуры. К этому виду могут быть отнесены процессы коррозии при действии сульфатов, связанные с накоплением и ростом кристаллов гидросульфоалюминита.

#### **Опыт №1 Определение степени коррозии арматуры в железобетоне**

Для определения степени коррозионного разрушения бетона (степени карбонизации, состава новообразований, структурных нарушений бетона) используются физико-химические методы.

Исследование химического состава новообразований, возникших в бетоне под действием агрессивной среды, производится с помощью дифференциально-термического и рентгено-структурного методов, выполняемых в лабораторных условиях на образцах, отобранных из эксплуатируемых конструкций.

Изучение структурных изменений бетона производится с помощью ручной лупы, дающей небольшое увеличение. Такой осмотр позволяет изучить поверхность образца, выявить наличие крупных пор, трещин и других дефектов.

С помощью микроскопического метода можно выявить взаимное расположение и характер сцепления цементного камня и зерен заполнителя; состояние контакта между бетоном и арматурой; форму, размер и количество пор; размер и направление трещин.

Таблица 8.1

Результаты определений

№ образцов	1	2	3
Расположение цементного камня			
Характер сцепления			
Состояние контакта			
Форма, размер, количество пор			
Размер, направление трещин			

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 **Дворкин, Л.И.** Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Москва: Инфа-Инженерия, 2013.
- 2 Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / ред. В.А. Невский. – Ростов н/Д : Феникс, 2010.
- 3 Строительные материалы. Лабораторный практикум: учебно-метод. пособие / под ред. Я.Н. Ковалева. – М. : Инфра-М, 2013.