

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Архитектурно-строительный факультет

Кафедра строительных материалов и конструкций

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных  
(практических) работ  
и самостоятельной работы  
для студентов по направлению  
08.03.01 Строительство

Краснодар  
КубГАУ  
2019

*Составители:* И. Н. Шаповалова, Е. Н. Долженко, Е.В. Безуглова

**Строительные материалы** : метод. указания к выполнению лабораторных (практических) работ и самостоятельной работы / сост. И. Н Шаповалова, Е. Н. Долженко, Е.В. Безуглова. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 108 с.

В методических указаниях дано описание основных свойств строительных материалов, их классификация, сущность, взаимосвязь, влияние на качество материалов. Приведены технологии и порядок выполнения стандартных методик по испытанию для определения свойств и технических условий материалов. Представлены виды приборов и инструментов для проведения стандартных испытаний. Даны методы подбора состава тяжелого бетона и строительного раствора.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского государственного аграрного университета, протокол № 2 от 22.10.2019.

Председатель  
методической комиссии



А. М. Блягоз

- © Шаповалова И. Н., Долженко Е. Н., Безуглова Е. В., составление, 2019
- © ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	7
1.1 Плотность	7
1.1.1 Определение истинной плотности	7
1.1.2 Определение средней плотности	10
1.1.3 Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы	10
1.1.4 Определение средней плотности образцов неправильной геометрической формы	12
1.2 Пористость	15
1.3 Гигроскопичность	17
1.4 Водопоглощение	17
1.5 Коэффициент размягчения	19
1.6 Коэффициент конструктивного качества	19
2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	20
2.1 Классификация главнейших горных пород	20
2.2 Изучение природных каменных материалов	20
3. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	25
3.1 Испытание керамического кирпича	25
3.2 Оценка дефектов кирпича	26
3.3 Определение водопоглощения керамических изделий	27
3.4 Определение средней плотности кирпича	27
3.5 Определение марки кирпича	29
4. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ	33
4.1 Строительный гипс	31
4.2 Определение тонкости помола строительного гипса	33
4.3 Определение нормальной густоты гипсового теста	35
4.4 Определение сроков схватывания строительного гипса	36
4.5 Определение марки гипса	38
5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ	42
5.1 Портландцемент	42
5.2 Определение тонкости помола портландцемента	43
5.3 Определение нормальной густоты цементного теста	44
5.4 Определение сроков схватывания цементного теста	46
5.5 Определение марки цемента	48
5.6 Определение нормальной консистенции цементно-песчаного раствора	48
5.7 Определение предела прочности образцов-балочек из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции при изгибе и сжатии	52
6. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА	55

6.1 Мелкий заполнитель – песок	55
6.2 Определение истинной плотности песка с помощью пикнометра	55
6.3 Определение истинной плотности песка с помощью мерного цилиндра	56
6.4 Определение насыпной плотности песка	56
6.5 Определение зернового состава и модуля крупности песка	58
6.6 Определение содержания глины в комках	60
6.7 Определение содержания пылевидных и глинистых частиц в песке	60
<b>7. ЩЕБЕНЬ (ГРАВИЙ) ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ</b>	<b>64</b>
7.1 Определение зернового состава щебня (гравия)	64
7.2 Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц	65
7.3 Содержание в щебне (гравии) глины в комках	66
7.4 Определение содержания в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы	67
7.5 Определение дробимости щебня (гравия)	68
7.6 Определение содержания зерен слабых пород в щебне (гравии)	69
7.7 Определение сопротивления щебня (гравия) удару на копре ПМ	71
7.8 Определение наличия органических примесей в гравии (щебня из гравия)	73
7.9 Определение истинной плотности горной породы и зерен щебня (гравия)	73
7.10 Определение средней плотности и пористости горной породы и зерен щебня (гравия)	75
7.11 Определение насыпной плотности щебня (гравия)	77
7.12 Определение пустотности щебня (гравия)	78
7.13 Определение водопоглощения горной породы (щебня, гравия)	78
7.14 Определения влажности щебня (гравия)	79
7.15 Определение предела прочности горной породы при сжатии	79
7.16 Определение коэффициента снижения прочности горной породы при насыщении водой	80
<b>8. БЕТОНЫ</b>	<b>81</b>
8.1 Свойства бетонной смеси	81
8.2 Определение подвижности бетонной смеси	83
8.3 Определение жесткости бетонной смеси	84
<b>9. ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА</b>	<b>86</b>
9.1 Правила подбора номинального состава бетона	86
9.2 Порядок расчета по методу абсолютных объемов	88
<b>10. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ</b>	<b>97</b>
10.1 Определение подвижности растворной смеси	97
10.2 Определение плотности растворной смеси	98
10.3 Определение расслаиваемости растворной смеси	99
10.4 Определение водоудерживающей способности растворной сме-	100

си	
10.5 Определение прочности раствора на сжатие	101
10.6 Определение средней плотности раствора	103
10.7 Определение влажности раствора	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	106

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основной целью освоения дисциплины «Строительные материалы» является изучение основных физических, химических, механических, технологических и эксплуатационных свойств строительных материалов, необходимых для рационального решения прикладных (практических) задач с последующим определением областей их рационального практического использования; методов и технологий испытаний материалов для определения всех перечисленных свойств, а также оптимизации состава, структуры, свойств конкретных видов материалов и методов их переработки с целью получения изделий и конструкций с заданными физико-химическими, механическими и эксплуатационными свойствами.

ОПОП ВО по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» предусмотрены лабораторные (практические) работы, в процессе выполнения которых студенты знакомятся с основными свойствами строительных материалов, методами их лабораторных испытаний, применяемыми при этом приборами, инструментами и испытательными машинами, а также техническими требованиями, предъявляемыми к качеству строительных материалов. Изучают способы подбора состава тяжелого бетона и состава строительного раствора по стандартным методикам.

К выполнению лабораторных работ студенты должны приступать только после изучения соответствующих теоретических вопросов по учебнику, проработки методики выполнения испытаний по настоящим методическим указаниям, а также, ознакомившись с правилами по технике безопасности при работе в лаборатории.

# 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1 Плотность

**Плотность** – это масса единицы объема материала

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)} \quad (1.1)$$

где

$m$  – масса материала (г, кг);

$V$  – объем материала (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>).

Соотношение между размерностями плотности:

$$1 \text{ г/см}^3 = 1 \text{ т/м}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ кг/дм}^3 = 1 \text{ кг/л}$$

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

$$\rho_{И} = \frac{m}{V_A} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)} \quad (1.2)$$

где

$m$  – масса материала (г, кг)

$V_A$  – объем материала без пор (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>)

**Средняя плотность** – масса единицы объема кускового материала в естественном состоянии (с пустотами и порами).

$$\rho_C = \frac{m}{V_E} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)} \quad (1.3)$$

где

$m$  – масса материала (г, кг);

$V_E$  – объем материала с пустотами и порами (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>).

**Насыпная плотность** – масса единицы объема сыпучего материала в естественно-насыпном состоянии.

$$\rho_H = \frac{m}{V_H} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)} \quad (1.4)$$

где

$m$  – масса материала (г, кг, т);

$V_H$  – объем материала в насыпном состоянии (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>).

### 1.1.1 Определение истинной плотности

Для определения истинной плотности необходимо определить объем плотного материала (без пустот и пор). Для этого пористый материал предварительно измельчают до полной ликвидации пор. **Истинная плотность** чис-

ленно равна отношению массы материала к его объему в абсолютно плотном состоянии (без пустот и пор).

$$\rho_{и} = \frac{m}{V_A} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)} \quad (1.5)$$

где  $m$  – масса материала (г, кг)

$V_A$  – объем материала без пор (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>)

Плотность определяют с помощью прибора – **объёмомера Ле-Шателье**, представляющего собой колбу с расширением в цилиндрической части (рисунок 1.1) и имеющей деления в нижней и верхней частях.

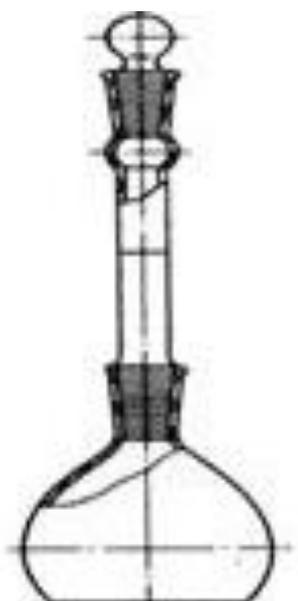


Рисунок 1.1 – Объёмомер Ле-Шателье

Для определения истинной плотности материала из отобранной и тщательно перемешанной средней пробы отвешивают 200 г, высушивают его при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, затем тонко измельчают в асбестовой или фарфоровой ступке.

Полученный порошок просеивают через сито №02 (размер ячейки в свету  $0,2 \times 0,2$  мм) и берут навеску около 180 г просеянного порошка. Объем этого расширения составляет порядка 20 см<sup>3</sup>.

Объёмомер наполняют до нижнего нулевого или любого другого деления жидкостью, инертной к испытуемому материалу (водой, безводным ксеросином или спиртом). Тщательно протирают тампоном или фильтрованной бумагой свободную от жидкости часть объёмомера и помещают его в стеклянный сосуд с водой, имеющей температуру  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  (рисунок 1.2).

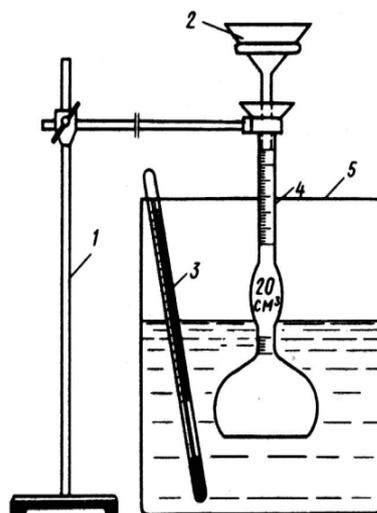


Рисунок 1.2 – Прибор для определения истинной плотности материала

1 – штатив; 2 – воронка; 3 – термометр; 4 – объемомер, 5 – емкость

Через 5 мин после помещения объемомера в воду, отмечают уровень жидкости, пользуясь делениями в нижней части шкалы прибора. Затем от подготовленной пробы порошка материала отвешивают с точностью до 0,01 г на технических весах навеску 80 г и через воронку высыпают материал в объемомер порциями до тех пор, пока уровень жидкости в нем не поднимется до одного из делений в верхней части шкалы прибора.

Разность между конечным и начальным уровнями жидкости в объемомере показывает объем порошка  $V$ , высыпанного в прибор. Остаток порошка взвешивают и по разности между начальной навеской  $m$  и остатком  $m_1$  определяют массу порошка, высыпанного в объемомер.

Плотность материала в  $\text{г/см}^3$  равна:

$$\rho = \frac{m - m_1}{V} \quad (1.6)$$

где

$m$  – первоначальная навеска материала, г;

$m_1$  – остаток от навески материала, г;

$V$  – объем жидкости, вытесненной порошком,  $\text{см}^3$ .

Плотность материала определяют с точностью до  $0,01 \text{ г/см}^3$ , как среднее арифметическое 2-х отдельных определений на разных навесках.

Для ориентировочного определения плотности материала можно воспользоваться мерным цилиндром емкостью от 100 до  $250 \text{ см}^3$  с ценой деления 1 или  $2 \text{ см}^3$ . В этом случае в цилиндр наливают жидкость на  $1/3$  его объема, отмечают уровень по нижнему мениску жидкости, затем осторожно (через воронку) высыпают в него навеску порошка материала массой 100 г, и вновь отмечают уровень жидкости. По разности конечного и начального уровней жидкости (по нижнему мениску) определяют объем высыпанного в

цилиндр порошка. Затем по приведенной ниже формуле определяют плотность материала.

Истинная плотность материала в г/см<sup>3</sup> равна:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (1.7)$$

где

$m$  – навеска материала, г;

$V_2$  – объем жидкости с материалом (по мениску), см<sup>3</sup>;

$V_1$  – первоначальный объем жидкости (по мениску), см<sup>3</sup>.

### 1.1.2 Определение средней плотности

Для определения средней плотности необходимо определить объем материала в естественном состоянии (с пустотами и порами). Для этого пористый материал предварительно покрывают парафином (парафинируют) или насыщают водой.

**Средняя плотность** численно равна отношению массы образца материала к его объему в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами):

$$\rho_c = \frac{m}{V_E}, \quad (1.8)$$

где

$m$  – масса образца материала (г, кг);

$V_E$  – объем образца в естественном состоянии (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>).

Большинство строительных материалов имеют поры. Чем их больше в материале, тем меньше его средняя плотность.

При определении средней плотности материала можно использовать образцы как правильной, так и неправильной геометрической формы. От формы образца зависит метод определения его объема для последующего расчета средней плотности материала.

### 1.1.3 Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы

Для определения средней плотности материала готовят образцы в форме куба, параллелепипеда или цилиндра. Берут три образца и высушивают их в шкафу при температуре (105±5)°С охлаждают в эксикаторе и хранят в нем до момента испытания.

Штангенциркулем измеряют образцы с точностью до 0,1 мм как это показано на рисунке 1.3.

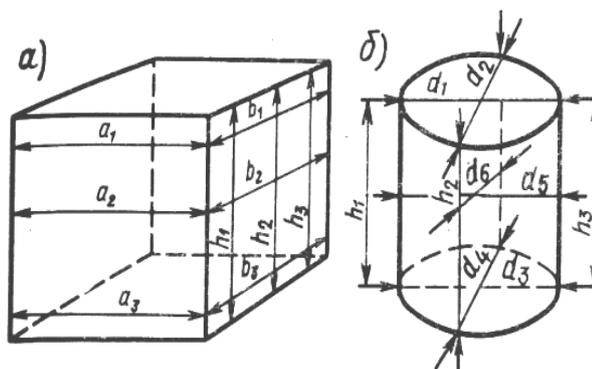


Рисунок 1.3 – Схема измерения объема образцов материала

$a$  – образец в форме параллелепипеда;  $b$  – образец в форме цилиндра

За окончательный результат принимают среднее арифметическое *трех* измерений каждой грани куба или параллелепипеда (рисунок 1.3,  $a$ ).

На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической формы (рисунок 1.3,  $b$ ) проводят два взаимно перпендикулярных диаметра ( $d_1, d_2, d_3, d_4$ ) и измеряют их длину; 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 по образующим в двух взаимно перпендикулярных направлениях, за окончательный результат принимают среднее арифметическое 4-х измерений.

Объем образца  $V_{\Pi}$  (см<sup>3</sup>), имеющего форму параллелепипеда:

$$V_{\Pi} = a_c \times b_c \times c_c, \quad (1.9)$$

где

$a_c, b_c, c_c$  – средние значения размеров граней образца, см.

Объем образца цилиндрической формы  $V_{Ц}$  (см<sup>3</sup>):

$$V_{Ц} = \frac{\pi \cdot d_c}{4} h_c, \quad (1.10)$$

где

$d_c$  – средний диаметр цилиндра, см;

$h_c$  – средняя высота цилиндра, см.

Затем каждый образец взвешивают с точностью до 0,1 г при массе образца до 500 г и до 1 г, если масса образца более 500 г. Зная массу и объем образца, вычисляют его плотность (г/см<sup>3</sup>) по формуле (1.8). Определение плотности материала производят на 3-х образцах.

### 1.1.4 Определение средней плотности образцов неправильной геометрической формы

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

#### *Методика определения средней плотности с помощью объеммера*

Для определения плотности используют прибор объеммер (рисунок 1.4), представляющий собой металлический или стеклянный цилиндр (1) диаметром 150 мм и высотой 350 мм с впаянной на высоте 250 мм трубкой (2) диаметром 8–10 мм с загнутым вниз концом.

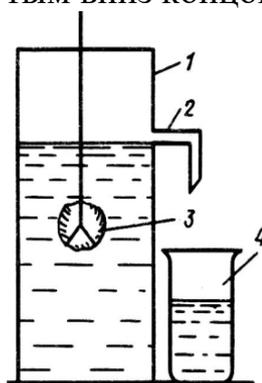


Рисунок 1.4 – Объеммер

1 – цилиндр; 2 – трубка; 3 – образец; 4 – стакан

Объеммер наполняют водой несколько выше трубки и ждут, пока избыток воды стечет, затем под трубку подставляют взвешенный стакан (4).

Каждый образец (3) высушивают, взвешивают  $m_1$ , а затем парафинируют, и снова взвешивают  $m_2$ .

При погружении испытуемого парафинированного образца в объеммер, вытесняемая вода будет вытекать через трубку в стакан, который вместе с водой взвешивают, определяя массу вытесненной воды  $m_B$ .

Плотность образца вычисляют следующим образом.

Вначале определяют объем парафина  $V_{\Pi}$ , затраченного на покрытие образца:

$$V_{\Pi} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\Pi}} \quad (1.11)$$

где

$m_1$  – масса сухого образца, г;

$m_2$  – масса парафинированного образца, г

$\rho_{\Pi}$  – истинная плотность парафина, равная 0,93 г/см<sup>3</sup>.

Затем вычисляют среднюю плотность образца (г/см<sup>3</sup>):

$$\rho_{cp} = \frac{m_1}{V_e} = \frac{m_1}{V_{по} - V_{п}} = \frac{m_1}{\left(\frac{m_B}{\rho_B}\right) - V_{п}} = \frac{m_1}{\left(\frac{m_B}{\rho_B}\right) - \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_{п}}\right)}, \quad (1.12)$$

где

$m_1$  – масса сухого образца материала, г;

$m_2$  – масса парафинированного образца, г

$m_B$  – масса вытесненной воды, г;

$V_{по}$  – объем парафинированного образца, см<sup>3</sup>.

$V_{п}$  – объем парафина, см<sup>3</sup>.

$\rho_B$  – истинная плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>;

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

В качестве объемомера допускается использовать мерные цилиндры объемом 100–500 см<sup>3</sup> в зависимости от размера испытуемого образца.

### **Методика определения средней плотности методом гидростатического взвешивания**

Образец неправильной геометрической формы высушивают до постоянной массы, взвешивают на технических весах  $m_1$ , затем парафинируют и снова взвешивают  $m_2$ . Затем его подвешивают на тонкой нити к крючку приспособления, закрепленного на левом конце коромысла гидростатических весов (рисунок 1.4).

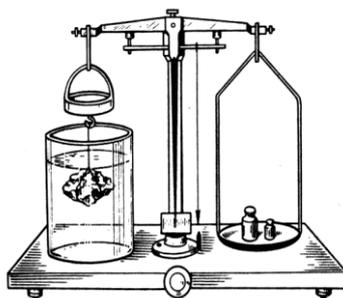


Рисунок 1.4 – Гидростатические весы

Массу образца уравнивают гириями, устанавливая их на правую чашу  $P_1$ . Образец погружают в стакан с водой так, чтобы он не касался стенок и дна.

При этом равновесие весов нарушается и весы снова уравнивают, сняв с правой чаши часть гирь, и определяют вес образца в воде  $P_2$ .

Разность значений весов парафинированного образца на воздухе  $P_1$  и в воде  $P_2$  численно равна массе вытесненной воды, а ее объем соответствует объему парафинированного образца  $V_{по}$ .

Далее по формуле определяют плотность образца:

$$\rho_{cp} = \frac{m_1}{V_e} = \frac{m_1}{\left(\frac{m_B}{\rho_B}\right) - V_{II}} = \frac{m_1}{\left(\frac{P_1 - P_2}{\rho_B}\right) - \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_{II}}\right)}, \quad (1.13)$$

где

$m_1$  – масса сухого образца материала, г;

$m_1$  – масса парафинированного образца, г;

$m_B$  – масса вытесненной воды, г;

$P_1$  – вес образца на воздухе, г;

$P_2$  – вес образца в воде, г;

$\rho_B$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{II}$  – плотность парафина, равная 0,93 г/см<sup>3</sup>.

Плотность материала вычисляют как среднее арифметическое определений *трех* образцов.

### ***Методика определения средней плотности методом предварительного насыщения водой***

Среднюю плотность также можно определить без парафинирования образцов, насыщая их водой.

Ход определения: взвешивают сухой образец  $m_1$ , затем насыщают его водой до постоянной массы, заполняя все открытые поры водой.

Затем определяют объем насыщенного водой образца  $V_B$

Далее по формуле определяют плотность образца:

$$\rho_{нд} = \frac{m_1}{\left(\frac{P_1 - P_2}{\rho_A}\right) - \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_I}\right)}, \quad (1.14)$$

где

$m_1$  – масса сухого образца материала, г;

$m_2$  – масса парафинированного образца, г;

$P_1$  – вес образца на воздухе, г;

$P_2$  – вес образца в воде, г;

$\rho_B$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{II}$  – плотность парафина, равная 0,93 г/см<sup>3</sup>.

Затем его подвешивают на тонкой нити к крючку приспособления, закрепленного на левом конце коромысла гидростатических весов (рисунок 1.4).

Массу образца уравнивают гирями, устанавливая их на правую чашу  $P_1$ . Образец погружают в стакан с водой так, чтобы он не касался стенок и дна.

Для ориентировочного определения плотности материала можно воспользоваться мерным цилиндром емкостью от 100 до 250 см<sup>3</sup> с ценой деления 1 или 2 см<sup>3</sup>. В этом случае в цилиндр наливают жидкость на 1/3 его объ-

ема, отмечают уровень по нижнему мениску жидкости, затем осторожно высыплют в него навеску порошка материала массой 50-100 г и вновь отмечают уровень жидкости. По разности конечного и начального уровней определяют объем высыпаемого в цилиндр порошка. Затем по приведенной ниже формуле определяют плотность материала.

Средняя плотность материала в г/см<sup>3</sup> равна:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}, \quad (1.15)$$

где

$m$  – навеска материала, г;

$V_2$  – объем жидкости с материалом (по мениску), см<sup>3</sup>;

$V_1$  – первоначальный объем жидкости (по мениску), см<sup>3</sup>.

Плотность материала вычисляют как среднее арифметическое определений 3-х образцов.

## 1.2 Пористость

**Пористость** материала характеризует степень заполнения его объема воздушными порами и численно равна отношению объема пор  $V_{II}$  к объему образца в естественном состоянии  $V_E$ :

$$\Pi = \frac{V_{II}}{V_E} \quad (1.16)$$

Пористость  $\Pi$  кускового материала связана с его средней плотностью  $\rho_C$  и истинной плотностью  $\rho_{II}$  следующим соотношением:

$$\Pi = \frac{V_{II}}{V_E} = \frac{E_E - V_A}{V_E} = \frac{V_E - V_A}{V_E} = 1 - \frac{V_A}{V_E} = 1 - \frac{V_A \cdot m_1}{V_E \cdot m_1};$$

$$\Pi = 1 - \frac{\left(\frac{m_1}{V_E}\right)}{\left(\frac{m_1}{V_A}\right)} = 1 - \frac{\rho_C}{\rho_{II}}; \quad (1.17)$$

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_C}{\rho_{II}}\right) 100\%, \quad (1.18)$$

где

$V_{II}$  – объем пор в куске материала, см<sup>3</sup>;

$V_E$  – объем материала в естественном состоянии (с порами), см<sup>3</sup>;

$V_A$  – объем материала в абсолютно плотном состоянии (без пор), см<sup>3</sup>;

$m_1$  – масса образца материала в сухом состоянии, г;

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

$\rho_{II}$  – истинная плотность кускового материала, г/см<sup>3</sup>.

Пористость выражают в долях (формула 1.17) или в процентах (формула 1.18) от объема материала.

Пористость и ее вид (открытая и закрытая) в значительной степени определяет свойства материалов: водопоглощение, водопроницаемость, морозостойкость, теплопроводность, плотность.

**Открытая пористость**  $P_O$  равна отношению суммарного объема всех открытых пор  $V_O$ , насыщающихся водой, к объему материала в естественном состоянии  $V_E$

$$P_O = \frac{V_O}{V_E} = \frac{V_B}{V_E} = \frac{\left(\frac{m_B}{\rho_B}\right)}{V_e} = \frac{\left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_B}\right)}{V_e}; \quad (1.19)$$

$$P_O = \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_B \cdot V_E}\right) 100\%, \quad (1.20)$$

где

$P_O$  – открытая пористость кускового материала в долях или процентах;

$V_O$  – объем открытых пор в куске материала,  $\text{см}^3$ ;

$V_E$  – объем материала в естественном состоянии (с порами),  $\text{см}^3$ ;

$m_1$  – масса образца материала в сухом состоянии, г;

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

$m_B$  – масса воды, поглощенной образцом материала, г;

$\rho_B$  – истинная плотность воды,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Открытую пористость выражают в долях (формула 1.19) или в процентах (формула 1.20) от объема материала.

**Закрытая пористость**  $P_3$  равна разности между общей пористостью  $P$  и открытой пористостью  $P_O$ :

$$P_3 = P - P_O; \quad (1.21)$$

$$P_3 = P - P_O = \left(1 - \frac{\rho_C}{\rho_H}\right) - \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_B \cdot V_E}\right); \quad (1.22)$$

$$P_3 = P - P_O = \left(1 - \frac{\rho_C}{\rho_H}\right) 100\% - \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_B \cdot V_E}\right) 100\%, \quad (1.23)$$

**Коэффициент плотности**  $K_{ПЛ}$  характеризует степень заполнения объема материала твердым веществом и равен отношению объема материала в абсолютно плотном состоянии  $V_A$  к объему материала в естественном состоянии  $V_C$ :

$$K_{ПЛ} = \frac{V_A}{V_C} = \frac{V_A \cdot m_1}{V_C \cdot m_1} = \frac{\left(\frac{m_1}{V_E}\right)}{\left(\frac{m_1}{V_C}\right)} = \frac{\rho_C}{\rho_H}; \quad (1.24)$$

$$K_{ПЛ} = \frac{\rho_C}{\rho_H} \leq 1. \quad (1.25)$$

**Коэффициент насыщения пор**  $K_H$  равен отношению открытой пористости  $\Pi_o$  к общей пористости  $\Pi$  и характеризует степень насыщения объема материала водой:

$$K_H = \frac{\Pi_o}{\Pi} \leq 1 \quad (1.26)$$

Коэффициент насыщения пор может изменяться от 0 (стекло, металл, гранит – все поры в материале замкнутые) до 1 (минеральная или стеклянная вата – все поры открытые).

### 1.3 Гигроскопичность

**Гигроскопичность**  $W_G$  – свойство материала поглощать водяной пар из воздуха. Это обусловлено осаждением водяного пара на внутренних поверхностях пор и капиллярной конденсацией.

$$W_G = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100\%, \quad (1.27)$$

где

$W_G$  – гигроскопическая влажность, доли или проценты;

$m_1$  – масса образца в сухом состоянии, г;

$m_2$  – масса образца в увлажненном состоянии, г.

Этот физико-химический процесс называется *сорбцией*. Он является обратимым и повышается с повышением давления водяного пара (с увеличением относительной влажности воздуха при постоянной температуре).

### 1.4 Водопоглощение

**Водопоглощение** – способность материала поглощать и удерживать в порах воду. По величине водопоглощения можно характеризовать открытую пористость материала. При этом часть открытых мелких пор и все замкнутые поры водой не насыщаются.

Водопоглощение подразделяют на два вида – по массе  $W_m$  и по объему  $W_V$ .

**Водопоглощение по массе** -  $W_m$ , равно отношению массы воды  $m_B$ , поглощенной образцом при насыщении его водой, к массе сухого образца  $m_1$ :

$$W_m = \frac{m_B}{m_1} = \frac{m_2 - m_1}{m_1}; \quad (1.28)$$

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100\%, \quad (1.29)$$

где

$W_m$  – водопоглощение по массе, доли или проценты;

$m_B$  – масса воды, поглощенной образцом, г;

$m_1$  – масса образца в сухом состоянии, г;

$m_2$  – масса образца в насыщенном водой состоянии, г.

**Водопоглощение по массе**  $W_m$  выражают в долях (формула 1.28) или в процентах (формула 1.29).

**Водопоглощение по объему**  $W_V$  равно отношению объема поглощенной образцом воды  $V_B$  к объему образца в естественном состоянии  $V_E$  (вместе с порами и пустотами):

$$W_V = \frac{V_B}{V_E} = \frac{\left(\frac{m_B}{\rho_B}\right)}{V_E} = \frac{\left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_B}\right)}{V_E} = \frac{m_2 - m_1}{V_E \cdot \rho_B}; \quad (1.30)$$

$$W_V = \frac{m_2 - m_1}{V_E \cdot \rho_B} 100\% \quad (1.31)$$

где

$W_V$  – водопоглощение по объему, доли или проценты;

$m_1$  – масса образца материала в сухом состоянии, г;

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

$m_B$  – масса воды, поглощенной образцом материала, г;

$V_E$  – объем материала в естественном состоянии, см<sup>3</sup>;

$\rho_B$  – истинная плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

Водопоглощение по объему  $W_V$  выражают в долях (формула 1.30) или в процентах (формула 1.31).

Отношение водопоглощения по объему  $W_V$  к водопоглощению по массе  $W_m$  равно отношению средней плотности материала  $\rho_C$  к плотности воды  $\rho_B$ :

$$\frac{W_V}{W_m} = \frac{\left(\frac{m_2 - m_1}{V_E \cdot \rho_B}\right)}{\left(\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right)} = \frac{m_1}{V_E \cdot \rho_B} = \frac{\left(\frac{m_1}{V_E}\right)}{\rho_B} = \frac{\rho_C}{\rho_B},$$

$$\frac{W_V}{W_m} = \frac{\rho_C}{\rho_B} \quad (1.32)$$

### **Методика определения водопоглощения**

Образцы в количестве 3-х шт. высушивают при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, затем взвешивают  $m_1$  после их остывания на воздухе. После сушки образцы укладывают в сосуд с водой с температурой  $15\text{--}20^\circ\text{C}$  на решетку так, чтобы уровень воды в нем был выше верха образцов на 2–10 см. Образцы плотностью менее  $1000 \text{ кг/м}^3$  пригружают, чтобы они не всплывали. Через 48 ч выдерживания в воде образцы извлекают из сосуда, обтирают влажной тканью и немедленно взвешивают  $m_2$ . Массу воды, вытекшей из образца на чашу весов, включают в массу насыщенного водой образца  $m_2$ .

Водопоглощение по массе  $W_m$  и объему  $W_V$  вычисляют по формулам 1.25 и 1.27 как среднее арифметическое испытаний трех образцов.

Для ускоренного определения водопоглощения каменных материалов применяют способ кипячения. Высушенные до постоянной массы  $m_1$  образцы погружают в сосуд с водой и кипятят в течение 4 ч, после чего их охлаждают до температуры 20–30°C путем доливания в сосуд холодной воды. Затем образцы вынимают из сосуда, обтирают влажной тканью, сразу взвешивают  $m_2$  и вычисляют водопоглощение. Водопоглощение по массе  $W_m$  гранита, габбро, кварцита и других плотных горных пород составляет 0,1–1%; известняка – колеблется в широких пределах от 0,5 до 25%; стеклянной и минеральной ваты – до 600%. Водопоглощение по объему  $W_m$  любых материалов не может превышать 100%.

### 1.5 Коэффициент размягчения

**Коэффициент размягчения**  $K_p$  – отношение прочности материала, насыщенного водой  $R_B$ , к прочности сухого материала  $R_C$ :

$$K_p = \frac{R_B}{R_C} \leq 1 \quad (1.33)$$

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость строительных материалов. При коэффициенте размягчения 0,8 и выше материал считается водостойким, менее 0,8 – не водостойким.

### 1.6 Коэффициент конструктивного качества

**Коэффициент конструктивного качества**  $K_{KK}$  равен отношению прочности материала  $R$  к его приведенной плотности  $d$ :

$$K_{KK} = \frac{R}{d}, \quad (1.34)$$

где

$K_{KK}$  – коэффициент конструктивного качества;

$R$  – прочность материала, МПа;

$d$  – приведенная плотность материала.

**Приведенная плотность**  $d$  – это отношение средней плотности материала  $\rho_C$  к плотности воды  $\rho_B$ :

$$d = \frac{\rho_C}{\rho_B}, \quad (1.35)$$

где

$d$  – приведенная плотность;

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

$\rho_B$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

Коэффициент конструктивного качества характеризует эффективность использования данного вида материала из серии подобных.

## 2 ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Природные каменные материалы и изделия получают из горных пород путем их обработки: дроблением, раскалываем, распиливанием, обтесыванием, шлифовкой, полировкой, плавлением и литьем и др.

### 2.1 Классификация горных пород

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

**Минералы** – однородные по химическому составу и физическим свойствам составные части горной породы. Известно несколько тысяч минералов.

В зависимости от условий образования горные породы делятся на три основных типа: изверженные (магматические), осадочные и метаморфические (видоизмененные).

**Магматические породы** (первичные) – образовались в результате охлаждения и затвердевания магмы:

1) *глубинные (интрузивные)* – образовались при застывании магмы на разной глубине в земной коре (медленное остывание под большим давлением); структура – зернисто-кристаллическая;

2) *излившиеся (эфрузивные)* – образовались при излиянии магмы из глубин и застывании на поверхности (сравнительно быстрое охлаждение при быстром сбросе давления); структуры: скрытокристаллическая, стекловатая (аморфная), порфировая (мелкокристаллическая масса, в которую включены крупные кристаллические соединения);

**Осадочные породы** (вторичные) – возникают в поверхностных слоях земной коры из продуктов выветривания и разрушения горных пород.

**Метаморфические породы** (видоизмененные), являющиеся продуктом перекристаллизации и приспособления горных пород к изменившимся в земной коре физико-химическим условиям.

### 2.2 Изучение природных каменных материалов

Для определения принадлежности природного камня к той или иной горной породе устанавливают главные породообразующие минералы, их количество, пропорциональные соотношения, структуру, цвет, твердость, крупность кристаллов и т.п. Характеристика основных породообразующих минералов приведена в таблице 2.2.

Горные породы и составляющие их минералы определяют визуально или с помощью лупы.

Таблица 2.1 – Классификация горных пород по происхождению

Происхождение породы	Условия образования		Основные минералы
Магматические породы	Массивные	Глубинного залегания	Граниты, сиениты, диориты, габбро
		Излившиеся	Порфиры, диабазы, трахиты, базальты, порфириты
	Обломочные	Рыхлые	Вулканические пеплы, пемзы
		Цементированные	Вулканические туфы
Осадочные породы	Механические отложения (обломочные породы)	Рыхлые	Глины, пески, гравий
		Цементированные	Песчаники, конгломераты, брекчии.
	Химические осадки		Гипс, ангидрит, магнезит, доломиты, известковые туфы, некоторые виды известняков
	Органогенные отложения		Известняки, мел, ракушечник, диатомиты и трепелы
Метаморфические (видоизмененные) породы	Продукты видоизменения изверженных пород		Гнейсы
	Продукты видоизменения осадочных пород		Мраморы, кварциты

Таблица 2.2 – Характеристика породообразующих минералов

Наименование минерала	Структура	Цвет	$\rho_c$ , г/см <sup>3</sup>	Другие характерные признаки	Условия нахождения в природе
Каолинит	Аморфная, зернистая	Белый, желтоватый	2,5	Излом землистый; материал легко рассыпается; жирный на ощупь	В чистом виде
Гипс	Кристаллическая, зернистая, пластинчатая, волокнистая	Белый, розовый, желтоватый	2,2	Прозрачные кристаллы; материал хрупкий	В чистом виде
Мусковит	Кристаллическая, пластинчатая	Серебристый, белый, светло-желтый	2,8	Расщепляется на тончайшие прозрачные листочки	В граните, сиените, гнейсе и др.

Наименование минерала	Структура	Цвет	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Другие характерные признаки	Условия нахождения в природе
Биотит	Кристаллическая, пластинчатая	Черный, бурый, темно-зеленый	2,9	Расщепляется на тончайшие листочки	В граните, сиените, гнейсе и др.
Кальцит	Кристаллическая и зернисто-кристаллическая	Белый, серый, желтый	2,7	Прозрачен; при действии раствором $HCl$ «вскипает»	В известняках, мраморе и других карбонатных породах
Доломит	Кристаллическая	Белый, серый	2,8	–	–
Авгит	Кристаллическая	Черный, темно-зеленый	3,4	Стеклообразный блеск	В магматических породах
Роговая обманка	Кристаллическая	Черный, темно-зеленый	3,1	Выраженная спайность в одном направлении	В магматических породах
Полевой шпат	Кристаллическая	Белый, серый, розовый, красный	2,5	На плоскостях спайности стекловидный блеск	В граните, сиените, порфирите, гнейсе
Кварц	Кристаллическая	Белый, бесцветный, серый, черный	2,6	Излом острый, раковистый	В граните, гнейсе, песках, песчаниках

**Твердость** – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела

Твердость природных каменных материалов оценивается *шкалой Мооса*, которая представлена десятью минералами с условным показателем твердости от 1 до 10 (самый мягкий тальк – 1, самый твердый алмаз – 10):

1–*тальк* – легко царапается ногтем;

2 –*гипс* – царапается ногтем;

- 3–*кальцит* – легко царапается стальным ножом;  
 4–*флюорит* – царапается стальным ножом под небольшим нажимом;  
 5–*апатит* – царапается ножом под сильным нажимом;  
 6–*ортоклаз* – царапает стекло;  
 7–*кварц*;  
 8–*топаз*;  
 9–*корунд*;  
 10–*алмаз*.

Показатель твердости испытуемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один царапает испытуемый материал, а другой оставляет черту на образце материала.

Содержание в горных породах карбонатных включений или принадлежность горной породы к карбонатной группе определяется воздействием на нее 10%-ным раствором соляной кислоты.

Характеристика важнейших горных пород, используемых для получения природных каменных материалов, приведена в таблице 2.3.

При изучении горных пород прежде всего необходимо ознакомиться с основными породообразующими минералами.

При изучении горных пород необходимо придерживаться следующей последовательности:

условия образования (генезис) → состав → строение → свойства → области применения.

Данные по изучению коллекции минералов и горных пород заносятся в лабораторный журнал в виде таблицы.

Таблица 2.3 – Характеристика важнейших горных пород

Порода	Происхождение	Основные минералы, входящие в состав пород	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
Гранит	Магматические	Кварц; полевой шпат; слюда	2,6–2,8	100–250
Диорит	Магматические (глубинные)	Полевой шпат; роговая обманка; кварц	2,8–3,0	150–300
Сиенит	Магматические (глубинные)	Полевой шпат, роговая обманка, слюда	2,6–2,8	100–200
Лабродорит	Магматические (глубинные)	Полевой шпат; (лабродор); авгит	26–29	100–250
Диабаз (базальт)	Магматические (глубинные)	Полевой шпат; авгит	29–30	150–400

Продолжение таблицы 2.3

Порода	Происхождение	Основные минералы, входящие в состав пород	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
Туф вулканич.	Магматические (излившиеся)	Кварц, полевой шпат; слюда; вулканическое стекло	0,9–2,3	5–50
Пемза	Магматические (излившиеся)		0,4–0,8	0,5–3
Известняк плотный	Осадочные	Кальцит	2,6–2,8	15–100
Известняк пористый	Осадочные	Кальцит	0,9-1,8	0,4–15
Песчаник	Осадочные	Кварц, опал; полевой шпат	2,3-2,6	30-200
Мрамор	Метаморфические	Кальцит; доломит	2,6-2,8	60-300
Доломит	Осадочные	Доломит; кальцит	2,5-2,9	15-200
Кварцит	Метаморфические	Кварц	2,6-2,8	100-400
Гнейс	Метаморфические	Кварц; полевой шпат; слюда	2,6-2,8	80-200

## 3 КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 3.1 Испытание керамического кирпича

Кирпич керамический изготавливают размерами  $250 \times 120 \times 65$  мм (одинарный) и размерами  $250 \times 120 \times 88$  мм (модульный), полнотелый (рисунок 3.1) и пустотелый (рисунок 3.2).

Масса кирпича в высушенном состоянии не должна быть более 4,3 кг.

Каждая поверхность кирпича имеет свое название: *постель* ( $250 \times 120$  мм); *ложок* ( $250 \times 65$  мм); *тычок* ( $120 \times 65$  мм).

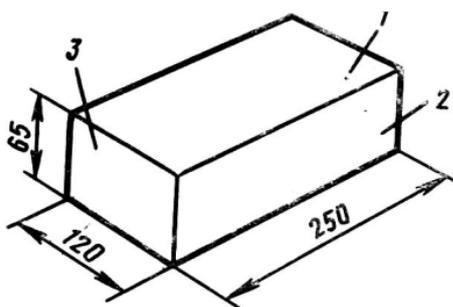


Рисунок 3.1 – Кирпич керамический полнотелый

1 – постель; 2 – ложок; 3 – тычок

Для оценки качества кирпича отбирают среднюю пробу в количестве 0,5%, но не менее чем 100 шт. от каждой партии кирпича (за партию принимают 100 тыс. шт.) и направляют на испытание в лабораторию не менее 30 шт.

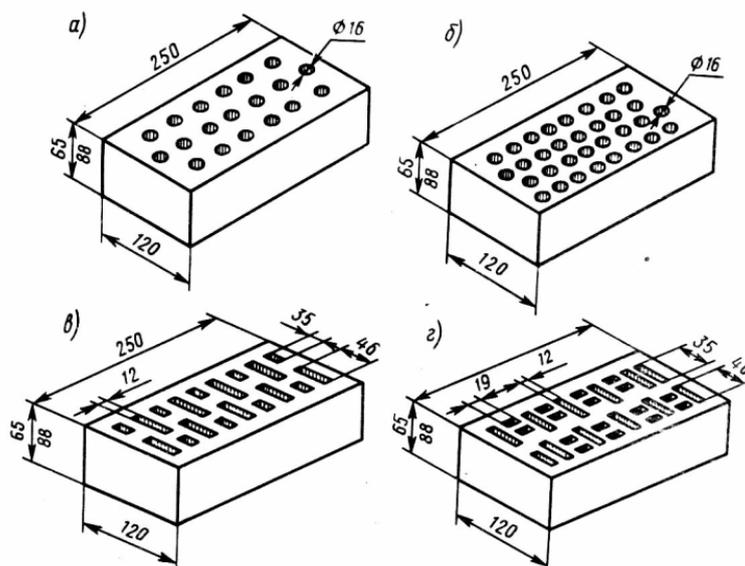


Рисунок 3.2 – Кирпич керамический пустотелый

а, б, в, г – виды и размеры пустот

### 3.2 Оценка дефектов кирпича

Поверхность граней изделий должна быть плоской, ребра – прямолинейными.

На изделии не допускаются дефекты внешнего вида, размеры и число которых превышают указанные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Дефекты внешнего вида

Вид дефекта	Число дефектов
Отбитости углов глубиной от 10 до 15 мм	2
Отбитости и притупленности ребер глубиной не более 10 мм и длиной от 10 до 15 мм	2
Трещины протяженностью до 300 мм по постели полнотелого кирпича и пустотелых изделий не более чем до первого ряда пустот (глубиной на всю толщину кирпича или на 1/2 толщины тычковой или ложковой грани камней): на ложковых гранях на тычковых гранях	1 1
Известковые включения, вызывающие после пропаривания изделий разрушение поверхностей	Не допускаются
Отколы глубиной более 6 мм	
Наличие отколов по наибольшему измерению от 3 до 10 мм более 3 шт.	Не допускаются
Недожженные изделия (недожог)	Не допускаются
Пережженные изделия (пережог)	

Дефекты кирпича устанавливают внешним осмотром и обмером. Внешним осмотром устанавливают наличие недожога и пережога в контролируемом кирпиче, для чего сравнивают отобранные кирпичи с *эталон* (нормально обожженным кирпичам).

Более светлый цвет кирпича, чем у эталона, глухой звук при ударе по кирпичу молотком указывает на наличие *недожога*.

Пережог кирпича характеризуется откалыванием и вспучиванием, имеет бурый цвет и, как правило, искривлен.

Недожженный и пережженный кирпич являются браком.

После внешнего осмотра кирпич измеряют по длине, ширине, толщине, определяют искривление поверхностей и ребер, длину трещин. Допускаемые отклонения размеров кирпича не должны превышать по длине  $\pm 5$ , ширине  $\pm 4$ , толщине  $\pm 3$  мм.

Кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами, с четкими гранями и ровными лицевыми поверхно-

стями. Искривление поверхностей и ребер, отбитость или притупленность ребер и углов устанавливают с помощью металлического угольника и линейки с точностью до 1 мм. Кирпич укладывают на ровный стол.

К проверяемой поверхности прикладывают ребром металлическую линейку или треугольник так, чтобы выявить максимальное значение прогиба поверхности. По форме и внешнему виду кирпича стандартом допускаются следующие отклонения: искривление граней и ребер кирпича по постели – не более 3 мм, а по ложку – не более 4 мм; сквозные трещины на ложковых гранях на всю толщину кирпича протяженностью по ширине кирпича до 30 мм включительно – не более одной (кирпич, имеющий сквозную трещину более 30 мм, относится к половняку); отбитость или притупленность ребер и углов, размером по длине ребра не более 15 мм – не более двух. Известковые включения (дутики), вызывающие разрушения кирпича, не допускаются.

### 3.3 Определение водопоглощения керамических изделий

Испытания керамических материалов (кирпича, плиток) на водопоглощение производят в соответствии с требованиями государственного отраслевого стандарта (ГОСТ 7025-91) на эти материалы.

Испытание керамического кирпича на водопоглощение производят путем насыщения образцов (целого кирпича или его половинок) в воде с температурой 15–20 °С в течение 48 ч или в кипящей воде в течение 4 ч.

Образцы кирпича в количестве 3 шт. перед испытанием высушивают при температуре 105–110 °С до постоянной массы. Массу образца считают постоянной, если разница в весе через 3 часа составляет не более 0,2%.

Образцы-кирпичи укладывают тычком на дно сосуда с водой с температурой на 2–10 см. Образцы выдерживают в воде в течении 48 ч, после чего их вынимают из сосуда, обтирают влажной тканью и немедленно взвешивают.

Водопоглощение по массе и по объему определяют по следующим формулам:

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100\% \quad (3.1)$$

где

$W_m$  – водопоглощение по массе, проценты;

$m_1$  – масса образца в сухом состоянии, г;

$m_2$  – масса образца в насыщенном водой состоянии, г.

Водопоглощение по массе кирпича керамического должно быть не менее 8%, исходя из создания необходимой открытой пористости на поверхности кирпича для обеспечения достаточного адгезионного сцепления в конструкции.

$$W_V = \frac{m_2 - m_1}{V_E \cdot \rho_B} 100\% \quad (3.2)$$

где

$W_V$  – водопоглощение по объему, проценты;

$m_1$  – масса образца в сухом состоянии, г;

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

$V_E$  – объем образца в естественном состоянии (с порами), см<sup>3</sup>;

$\rho_B$  – истинная плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

Ускоренное определение водопоглощения кирпича проводят кипячением в воде в течение 4 ч.

Водопоглощение не должно быть для полнотелого кирпича менее 8 %, для пустотелых изделий – менее 6 %.

### 3.4 Определение средней плотности керамического кирпича

Плотность керамического кирпича определяет его основные эксплуатационные свойства. Чем больше плотность кирпича, тем выше его прочностные характеристики, теплопроводность и как следствие наименьшего водопоглощения – морозостойкость.

Установленная при испытании средняя плотность керамического кирпича, позволяет нам оценить очень значимые при эксплуатации теплотехнические характеристики изделия.

При определении средней плотности, 3 образца керамического кирпича необходимо предварительно высушить до постоянной массы при температуре 105-110 °С.

Высушенные изделия осматриваются, затем определяются линейные размеры образцов с максимальной точностью, допускается погрешность не более 1 мм при каждом измерении. По стандартной математической формуле определения объема прямого параллелепипеда, рассчитывают объем каждого из трех испытуемых образцов керамического кирпича. Очищенные от пыли образцы взвешивают, отклонения от массы изделия не могут превышать более 5 г.

Среднюю плотность устанавливают по стандартной физической формуле определения средней плотности материалов:

$$\rho_C = \frac{m}{V_E} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)} \quad (3.3)$$

По показателю средней плотности изделия керамического кирпича подразделяют на классы 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0; 2,4.

По теплотехническим характеристикам в зависимости от класса средней плотности керамического кирпича подразделяют на группы (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Класс средней плотности изделия	Группа изделий по теплотехническим характеристикам	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/(м·°С)
0,7 0,8	Высокой эффективности	До 700 710-800	До 0,20
1,0	Повышенной эффективности	810-1000	Св. 0,20 до 0,24
1,2	Эффективные	1010-1200	Св. 0,24 до 0,36
1,4	Условно эффективные	1210-1400	Св. 0,36 до 0,46
2,0 2,4	Малоэффективные (обыкновенные)	1410-2000 2010-2400	Св. 0,46

### 3.5 Определение марки кирпича

**Марку кирпича** определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе испытанных образцов.

#### *Определение предела прочности при сжатии*

Для определения предела прочности при сжатии  $R_{сж}$  отобранные для испытания 10 кирпичей соединяют по два кирпича постелями с помощью цементного теста.

Для склейки двух целых кирпичей на гладкую, горизонтально установленную плоскость кладут стекло, покрытое смоченной бумагой, и по бумаге расстилают цементное тесто слоем 3 мм.

Затем целый кирпич укладывают постелью на цементное тесто и слегка прижимают; после чего верхнюю поверхность кирпича покрывают тем же цементным тестом и на него укладывают второй кирпич, слегка прижимая.

Верхнюю поверхность второго кирпича также покрывают цементным тестом и прижимают стеклом со смоченной бумагой. Излишки цементного теста срезают, и края слоев выравнивают ножом.

Приготовленные таким образом 5 образцов хранят во влажных условиях 3–4 суток для затвердения цементного теста, после чего их испытывают на сжатие.

Допускается испытание кирпича в образцах, состоящих из двух половинок, соединенных цементным тестом так же, как и целые кирпичи (рисунок 3.3).

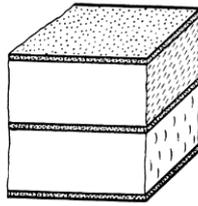


Рисунок 3.3 – Образцы для определения прочности при сжатии

Перед испытанием проверяют угольником параллельность поверхностей, покрытых затвердевшим цементным тестом, измеряют с точностью до 1 см<sup>2</sup> площадь поперечного сечения образца, равную произведению результатов двух взаимно перпендикулярных измерений по плоскости склейки кирпичей.

Значение разрушающего усилия фиксируется стрелкой силоизмерителя прессы (рисунок 3.4).

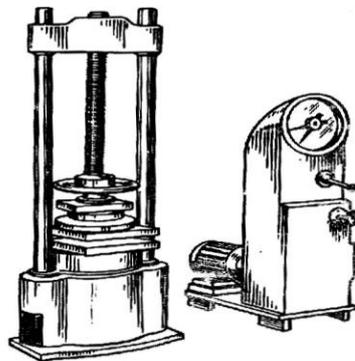


Рисунок 3.4 – Испытательный пресс

Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$  образцов вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{b \cdot h} \quad (3.4)$$

где

$P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$b$  – ширина образца, м;

$h$  – высота образца, м.

Среднее значение предела прочности при сжатии  $R_{сж}$  вычисляют как среднее арифметическое из результатов испытаний 5-ти образцов.

### Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе  $R_{изг}$  определяют путем испытания на гидравлическом прессе целого кирпича, уложенного плашмя на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм друг от друга (рисунок 3.5).

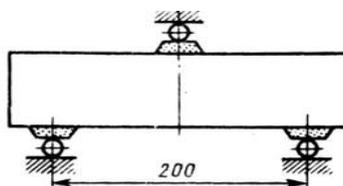


Рисунок 3.5 – Образец для определения прочности при изгибе

Опоры должны иметь закругления радиусом 10–15 мм. Нагрузку передают на середину кирпича через опору с таким же закруглением. Для более плотного правильного прилегания образца к опорам на кирпиче по уровню укладывают три полоски из цементного теста шириной 20–30 мм: две полоски в местах оперения на нижние опоры, одну под верхнюю опору. Подготовленные образцы выдерживают в течение 3–4 суток для затвердевания цементного теста. Перед испытанием измеряют размеры поперечного сечения кирпича в середине пролета (между опорами) с точностью до 1 мм.

Предел прочности при изгибе  $R_{изг}$  образцов вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3P \cdot \ell}{2b \cdot h^2} \quad (3.5)$$

где

$P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$\ell$  – расстояние между опорами, м;

$b$  – ширина образца, м;

$h$  – высота образца, м.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из пяти определений.

По среднему и минимальному значениям прочности отдельных образцов определяют марку кирпича по стандартной, нормативной таблице (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Марка кирпича в зависимости от его прочности

Способ формования	Марка	Предел прочности, МПа, не менее			
		при сжатии		при изгибе	
		средний для пяти образ- цов	наимень- ший для отдельно- го образца	средний для пяти образцов	наименьший для отдель- ного образца
Пластический	300	30,0	25,0	4,4	2,2
	250	25,0	20,0	3,9	2,0
	200	20,0	17,5	3,4	1,7
	175	17,5	15,0	3,1	1,5
	150	15,0	12,5	2,8	1,4
	125	12,5	10,0	2,5	1,2
	100	10,0	7,5	2,2	1,1
	75	7,5	5,0	1,8	0,9
Полусухой	300	30,0	25,0	3,4	1,7
	250	25,0	20,0	2,9	1,5
	200	20,0	17,5	2,5	1,3
	175	17,5	15,0	2,3	1,1
	150	15,0	12,5	2,1	1,0
	125	12,5	10,0	1,9	0,9
	100	10,0	7,5	1,6	0,8
	75	7,5	5,0	1,4	0,7

## 4 ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ

### 4.1 Строительный гипс

**Строительным гипсом** называют воздушное вяжущее вещество, получаемое путем термической обработки природного двуводного гипса при температуре 150–180°C до превращения его в полуводный гипс с последующим помолом в тонкий порошок. Цвет гипса зависит от количества примесей в гипсовом камне и от степени измельчения.

Строительный гипс – быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество, применяемое для изготовления строительных деталей и изделий, для штукатурных работ, а также в качестве добавок к растворам и бетонам.

Для оценки качества гипса от каждой партии гипсового вяжущего, подлежащего испытанию, отбирают пробу массой от 10 до 15 кг. На предприятии-изготовителе при текущем контроле отдельные пробы следует отбирать преимущественно из потока материала перед его упаковкой или отгрузкой навалом. При поставке гипсового вяжущего без упаковки пробу отбирают непосредственно из транспортных средств равными частями в четырех местах. При поставке гипсового вяжущего, упакованного в мешки, пробу отбирают из 10 мешков массой от 1,0 до 1,5 кг из середины каждого мешка.

Отобранную пробу тщательно перемешивают и методом квартования отбирают пробу массой от 5 до 7 кг; данную пробу делят на две равные части, одну из которых направляют на проведение испытаний, предусмотренных настоящим стандартом, другую - помещают в герметичную упаковку и хранят как арбитражную в сухом помещении при температуре (23±2)°С.

Помещение, в котором проводят испытания, испытываемые материалы и образцы, а также приборы должны иметь температуру (23±2)°С. Относительная влажность в помещении должна быть (50±5)%.

### 4.2 Определение тонкости помола строительного гипса

Тонкость помола гипса  $T_G$  – это отношение массы остатка на сите № 02  $m_{02}$  к массе просеиваемой навески гипса  $m_G$  в процентах:

$$T_G = \frac{m_{02}}{m_G} 100\% \quad (4.1)$$

где

$T_G$  – тонкость помола гипса, проценты;

$m_{02}$  – масса остатка гипса на сите № 02, г;

$m_G$  – масса навески просеиваемого гипса, г.

Для этого отобранную пробу гипса насыпают ровным слоем в плоскодонную фарфоровую чашу и просушивают в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре 50–55°С.

На технических весах отвешивают с точностью до 0,1 г навеску гипса в количестве 50 г. Навеску насыпают на сито с сеткой № 02 (величина размера ячейки равна 0,2 мм) и, закрыв крышкой, производят просеивание вручную или на приборе для механического просеивания (рисунок 4.1). Длительность просеивания обычно составляет 5–7 мин.

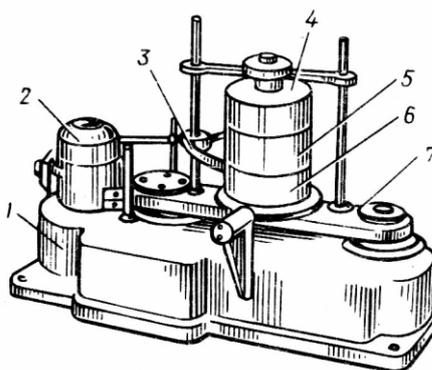


Рисунок 4.1 – Сито механическое

1 – станина; 2 – электродвигатель; 3 – кулачки; 4 – набор сит; 5 – сито рабочее № 02; 6 – емкость для просева; 7 – шатунно-эксцентриковый механизм

Тонкость помола гипса определяют в процентах с погрешностью не более 0,1%. За величину тонкости помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний. Тонкость помола является характеристикой *дисперсности* строительного гипса. В зависимости от тонкости помола строительный гипс делят на три вида (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Виды гипса в зависимости от тонкости помола

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

### 4.3 Определение нормальной густоты гипсового теста

Нормальная густота гипсового теста  $НГ_{Г}$  – это отношение массы воды  $m_{в}$  к массе гипса  $m_{Г}$  для получения гипсового теста нормальной (стандартной) вязкости:

$$НГ_{Г} = \frac{m_{в}}{m_{Г}} \cdot 100\% , \quad (4.2)$$

где

$НГ_{Г}$  – нормальная густота гипсового теста, проценты;

$m_{в}$  – масса воды, г;

$m_{Г}$  – масса гипса, г.

Для определения нормальной густоты гипсового теста отвешивают 300г гипса, высыпают его в сферическую чашку (рисунок 4.2, а) с заранее отмеренным количеством воды в пределах 150–200 мл и ручной мешалкой (рисунок 4.2, б) перемешивают в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала введения гипса в воду.

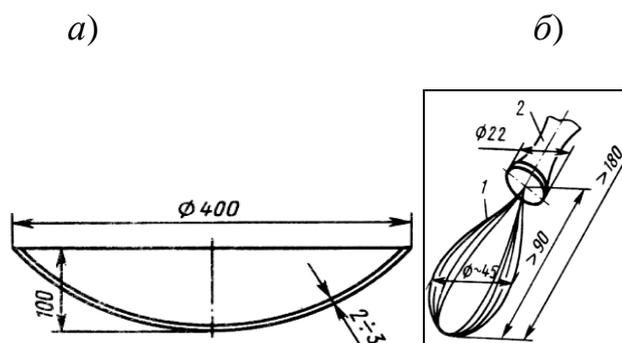


Рисунок 4.2 – Оборудование для приготовления гипсового теста

*а* – сферическая чаша; *б* – ручная мешалка:

*1* – петля (более 3); *2* – ручка

Нормальную густоту определяют с помощью медного или латунного цилиндра – *вискозиметра Суттарда*, имеющего высоту 100 мм и внутренний диаметр 50 мм. На стекле диаметром 240 мм или на бумаге под стеклом наносят ряд концентрических окружностей диаметром 150–200 мм, причем окружности диаметром от 170 до 190 мм наносят через 5 мм, а остальные – через 10 мм. Перед испытанием цилиндр и стекло протирают влажной тканью. Стекланную пластинку кладут строго горизонтально, а цилиндр устанавливают в центре концентрических окружностей (рисунок 4.3, а).

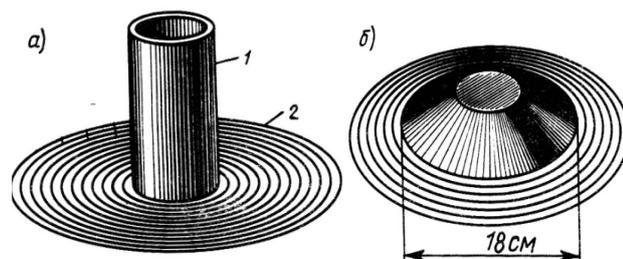


Рисунок 4.3 – Определение нормальной густоты гипсового теста

*a* – прибор перед испытанием: 1 – вискозиметр Суттарда; 2 – стекло с концентрическими окружностями; *б* – расплыв гипсового теста на стекле

После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Через 45 с, считая от начала введения гипса в воду, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр быстро поднимают вертикально и отводят в сторону, при этом гипсовое тесто расплывается на стекле (рисунок 4.3, б). Диаметр расплыва определяют по концентрическим окружностям или измеряют линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение.

Стандартная консистенция (нормальная густота) НГ<sub>Г</sub> характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, равного  $(180 \pm 5)$  мм. Если диаметр расплыва теста не соответствует  $(180 \pm 5)$  мм, испытания повторяют с измененной массой воды  $m_B$ .

Нормальная густота является мерой водопотребности строительного гипса. В процессе схватывания гипса только 28% воды химически связывается, остальная вода, испаряясь, формирует открытую пористость в гипсовом камне. Поэтому, чем меньше водопотребность гипса, тем более плотный камень можно получить при одинаковом расходе воды.

#### 4.4 Определение сроков схватывания гипсового теста

Сроки схватывания для гипсового теста нормальной густоты определяют с помощью **прибора Вика** (рисунок 4.4), который состоит из станины 1, подвижного металлического стержня 2 с площадкой 3 для добавочного груза, кольца в виде усеченного конуса 8, стеклянной пластинки 9. Для закрепления стержня на требуемой высоте служит зажимной винт 6. Стержень снабжен указательной стрелкой 4 для отсчета перемещения его относительно прикрепленной к станине шкале 5 с делениями от 0 до 40 мм. В нижней части подвижного стержня закрепляют сальную иглу 7 диаметром 1,1 мм и длиной 50 мм (рисунок 4.5, а).

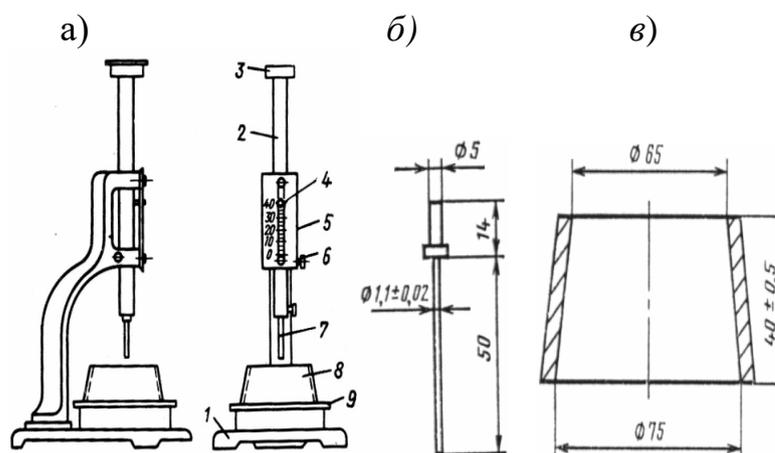


Рисунок 4.4 – Оборудование для определения сроков схватывания гипсового теста

*a* – прибор Вика: 1 – станина; 2 – стержень; 3 – площадка; 4 – стрелка; 5 – шкала;  
*б* – зажимной винт; 7 – игла; 8 – кольцо; 9 – пластинка; *б* – стальная игла;  
*в* – кольцо для теста

Перед началом испытания проверяют свободное падение металлического стержня, чистоту иглы, положение стрелки, которая должна быть установлена на 0, если игла упирается в пластинку. Масса стержня с иглой составляет 300 г.

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

Затем в металлическую чашку наливают такое количество воды, которое соответствует *нормальной густоте теста*, приготовленного из 300 г гипса.

Отвешенные 300 г гипса засыпают в воду и в течении 30с равномерно перемешивают смесь ручной мешалкой.

Кольцо установленное на стеклянную пластинку, заполняют тестом. Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо с пластинкой 4–5 раз встряхивают путем поднятия и опускания одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. После чего излишки теста срезают линейкой и заполненную форму на пластинке устанавливают на основании прибора Вика.

Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста.

Стержень 2 закрепляют зажимным винтом 6, который затем быстро отпускают, давая игле свободно погружаться в гипсовое тесто.

Иглу опускают вместе со стержнем через каждые 30 с, начиная с целого числа минут, при этом каждый раз меняют место внедрения иглы. После каждого погружения 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.

По полученным значениям определяют два момента: начало и конец схватывания.

**Начало схватывания** гипсового теста равно периоду времени от момента введения гипса в воду до того момента, когда игла прибора Вика *впервые не доходит* до поверхности пластинки.

**Конец схватывания** гипсового теста – это промежуток времени от момента введения гипса в воду до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика погружается в тесто *не более чем на 1 мм*. Время начала и конца схватывания выражают числом минут.

Сроки схватывания являются стандартной характеристикой процесса твердения гипсового теста нормальной густоты.

В зависимости от сроков схватывания строительный гипс подразделяется на три вида (таблица 4.2)

Таблица 4.2 – Виды гипсовых вяжущих в зависимости от сроков схватывания

Вид вяжущего	Индекс	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	-

## 4.5 Определение марки гипса

**Марка гипса** – это стандартная характеристика прочности гипсового камня в *2-х часовом возрасте*, полученного на основе гипсового *теста нормальной густоты*.

Для оценки марки гипса определяют предел прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек, изготовленных из гипсового теста. Для изготовления трех образцов-балочек отвешивают от 1 до 1,6 кг гипса и наливают в чашку воду в количестве, которое соответствует нормальной густоте теста. Гипс в течении 5–20 с засыпают в чашку с водой и перемешивают ручной мешалкой в течение 60с до получения однородной массы, которую заливают в металлическую форму (рисунок 4.5).

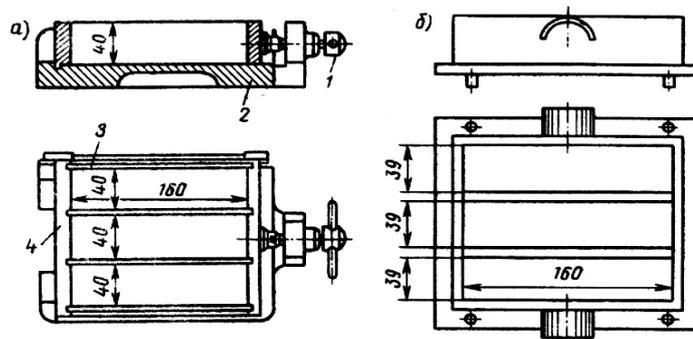


Рисунок 4.5 – Форма металлическая трехгнездовая

*a* – форма металлическая (вид сбоку и сверху): 1 – зажим; 2 – основание; 3 – боковая пластина; 4 – торцевая пластина; *б* – насадка (вид сверху и сбоку):

Предварительно внутреннюю поверхность формы слегка смазывают минеральным маслом. В каждой форме одновременно изготавливают три образца размером  $40 \times 40 \times 160$  мм. Для удаления вовлеченного воздуха после заливки форму встряхивают 5 раз, для чего ее поднимают за торцовую сторону на высоту 10 мм и опускают. После наступления начала схватывания излишки теста снимают линейкой. Через  $(15 \pm 5)$  мин после конца схватывания образцы извлекают из формы и осматривают. Грани образцов-балочек, прилегающие к плитам прессы должны быть параллельны и не иметь отклонения от плоскости более чем на 0,5 мм. Если на грани образцов будут обнаружены дефекты, то испытывать их нельзя.

Через 2 часа после затвердения теста 3 образца-балочки испытывают на изгиб на приборе МИИ-100 (рисунок 4.6).

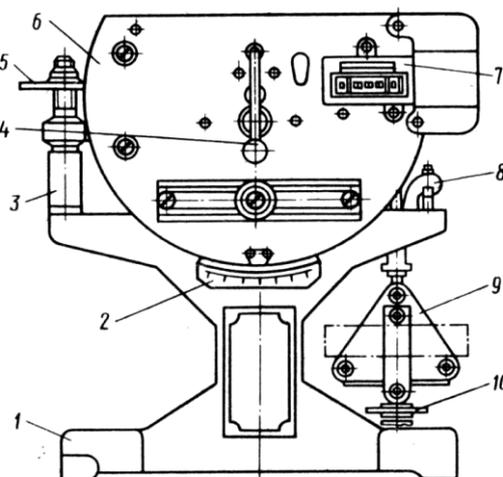


Рисунок 4.6 – Прибор МИИ-100

1 – станина; 2 – шкала; 3, 4, 5 – регулировочные приспособления; 6 – коромысло; 7 – показывающее и регистрирующее устройство; 8 – подвеска; 9 – обойма с образцом; 10 – устройство для регулирования зазора

Образец-балочку устанавливают на опорные валики изгибающего устройства, чтобы те грани образца, которые при изготовлении его были горизонтальными, находились в вертикальном положении. Расстояния между центрами опорных валиков 100 мм, а передающий нагрузку валик расположен посередине между опорами. Предел прочности при изгибе образцов-балочек  $R_{изг}$  считывается с регистрирующего прибора в кгс/см<sup>2</sup> или вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3P \cdot \ell}{2b \cdot h^2} \quad (4.3)$$

где

$P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$\ell$  – расстояние между опорами, м;

$b$  – ширина образца, м;

$h$  – высота образца, м.

Предел прочности при изгибе образцов, изготовленных из гипсового теста, вычисляют как среднее арифметическое испытаний 3-х образцов.

Предел прочности при сжатии определяют путем испытания из шести половинок балочек, полученных при испытании образцов на изгиб, на гидравлическом прессе.

Для передачи нагрузки на половинки балочек используют стандартные пластинки размером 40×62,5 мм и площадью 25 см<sup>2</sup> (рисунок 4.7, а). Каждую половинку балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, совпадали с рабочими поверхностями, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца (рисунок 4.7, б).

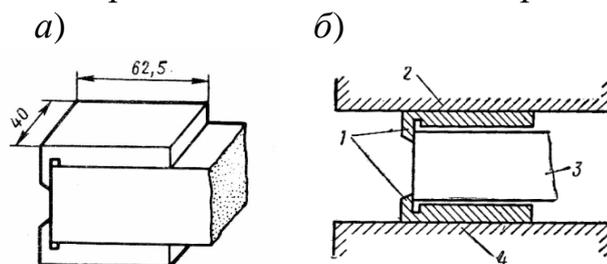


Рисунок 4.7 – Определение предела прочности при сжатии

а – стандартные пластинки с половинкой балочки; б – схема испытания: 1 – стандартные пластинки; 2 – верхняя плита прессы; 3 – образец; 4 – нижняя плита прессы

Нагрузка при испытании должна возрастать непрерывно до разрушения образца. Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно быть в пределах 5–30 с, средняя скорость нарастания нагрузки должна быть  $(1 \pm 0,5)$  МПа/с.

Предел прочности при сжатии каждого образца равен частному от деления значения разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластинки, равную 25 см<sup>2</sup>.

Предел прочности образца  $R_{сж}$  вычисляют с точностью до 1 МПа (9,8 кгс/см<sup>2</sup>) по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (4.4)$$

где

$R_{сж}$  – предел прочности образца, кПа (кгс/см<sup>2</sup>);

$P$  – разрушающее усилие прессы, кН (кгс);

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

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из 4-х значений испытания 6-ти образцов-половинок (без наибольшего и наименьшего результатов). Полученные результаты сравнивают с данными таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Марка гипсового вяжущего в зависимости от пределов прочности на сжатие и изгиб

Марка гипса	Предел прочности образцов-балочек размером 40×40×160 мм в возрасте 2 час, МПа, не менее		Марка гипса	Предел прочности образцов-балочек размером 40×40×160 мм в возрасте 2 час, МПа, не менее	
	при сжатии	при изгибе		при сжатии	при изгибе
Г-2	2	1,2	Г-10	10	4,5
Г-3	3	1,8	Г-13	13	5,5
Г-4	4	2,0	Г-16	16	6,0
Г-5	5	2,5	Г-19	19	6,5
Г-6	6	3,0	Г-22	22	7,0
Г-7	7	3,5	Г-25	25	8,0

## 5 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ

### 5.1 Портландцемент

**Портландцемент** – продукт тонкого помола *клинкера*, получаемого в результате обжига до спекания сырьевой смеси, содержащей карбонатные и глинистые породы в соотношении 3:1 (по массе).

При помоле в клинкер вводят до 0,5% строительного гипса для замедления начала схватывания и другие добавки для обеспечения специальных свойств вяжущего.

**Клинкер** – это искусственный камень, полученный спеканием горных пород. *Минералогический состав* клинкера: трех-кальциевый силикат  $3CaO \cdot SiO_2$ ; двух-кальциевый силикат  $2CaO \cdot SiO_2$ ; трех-кальциевый алюминат  $3CaO \cdot Al_2O_3$ ; четырех-кальциевый алюмоферрит  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ . *Химический состав* клинкера должен находиться в следующих пределах:  $CaO$  – 63–66%;  $SiO_2$  – 21–24%;  $Al_2O_3$  – 4–8%;  $Fe_2O_3$  – 2–4%; суммарное количество этих окислов должно составлять 95–97%.

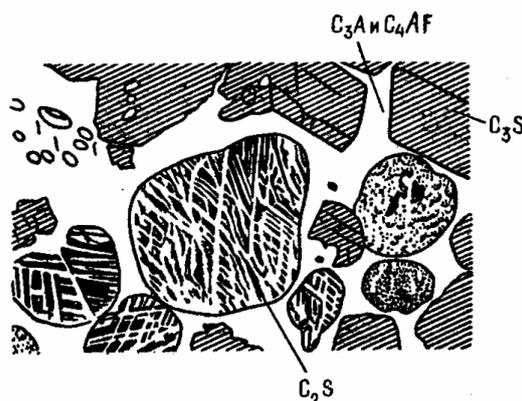


Рисунок 5.1 – Микрофотография протравленного шлифа портландцементного клинкера

По *вещественному составу* цемент подразделяют на следующие виды:

портландцемент (без минеральных добавок);

портландцемент с добавками (с активными минеральными добавками не более 20 %);

шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака более 20 %).

По *прочности при сжатии* в 28-суточном возрасте цемент подразделяют на марки:

портландцемент – 400, 500, 550 и 600;

шлакопортландцемент – 300, 400 и 500;

портландцемент быстротвердеющий – 400 и 500;

шлакопортландцемент быстротвердеющий – 400.

Таблица 5.1 – Обозначение вида цемента в зависимости от вида количества добавок

Обозначение вида цемента	Активные минеральные добавки, в процентах по массе			
	всего	в том числе		
		Доменные гранулированные и электротермо фосфорные шлаки	осадочного происхождения, кроме глиежа	прочие активные, включая глиеж
ПЦ-Д0	Не допускаются			
ПЦ-Д5	До 5 включ.	До 5 включ.	До 5 включ.	До 5 включ.
ПЦ-Д20, ПЦ-Д20-Б	Св.5 до 20 включ.	До 20 включ.	До 10 включ.	До 20 включ.
ШПЦ, ШПЦ-Б	Св. 20 до 80 включ.	Св.20 до 80 включ.	До 10 включ.	До 10 включ.

**Условное обозначение цемента** должно состоять из:  
 наименования вида цемента – портландцемент *П*, шлакопортландцемент *ШПЦ*;  
 марки цемента;  
 обозначения максимального содержания добавок в портландцементе: *Д0, Д5, Д20*;  
 обозначения быстротвердеющего цемента – *Б*;  
 обозначения пластификации и гидрофобизации цемента – *ПЛ, ГФ*;  
 обозначения цемента, полученного на основе клинкера нормированного состава, *Н*;  
 обозначения настоящего стандарта.

Пример условного обозначения портландцемента марки 400, с добавками до 20 %, быстротвердеющего, пластифицированного – *Портландцемент 400-Д20-Б – ПЛ ГОСТ 10178-85*.

Для контрольной проверки качества цемента от каждой партии (размер партии 2000 т) цемента отбирают общую пробу массой 10 кг. Пробы цемента доставляют в лабораторию в герметичной таре и хранят до испытания в сухом помещении.

### 5.1.1 Определение тонкости помола цемента

**Тонкость помола** портландцемента  $T_{ц}$  – это отношение массы остатка на сите № 008  $m_{008}$  к массе просеиваемой навески цемента  $m_{ц}$  в процентах:

$$T_{ц} = \frac{m_{008}}{m_{ц}} 100\% \leq 15\% \quad (5.1)$$

где

$T_{ц}$  – тонкость помола портландцемента, %;

$m_{008}$  – масса остатка портландцемента на сите № 008, г;

$m_{ц}$  – масса навески просеиваемого портландцемента, г.

При использовании прибора для механического просеивания (рисунок 5.3) отвешивают 50 г цемента с точностью до 0,05 г и высыпают его на сито. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического просеивания.

Через 5–7 мин от начала просеивания останавливают прибор, осторожно снимают доньшко и высыпают из него прошедший через сито цемент, прочищают сетку с нижней стороны мягкой кистью, вставляют доньшко и продолжают просеивание.

Операцию просеивания считают законченной, если при контрольном просеивании сквозь сито проходит не более 0,05 г цемента.

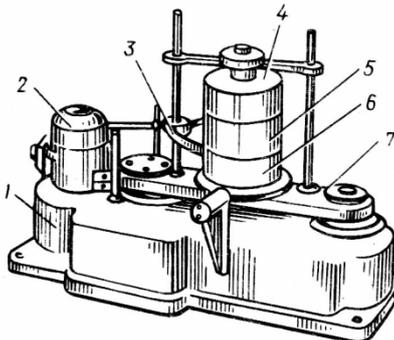


Рисунок 5.3 – Сито механическое

1 – станина; 2 – электродвигатель; 3 – кулачки; 4 – набор сит; 5 – сито рабочее №008; 6 – емкость для просева; 7 – шатунно-эксцентрикковый механизм

Если отсутствует прибор для механического просеивания, навеску просеивают через сито №008 вручную. Контрольное просеивание выполняют вручную при снятом доньшке на бумагу в течение 1 мин.

Тонкость помола является характеристикой *дисперсности* цемента.

Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании его через сито с сеткой № 008 остаток на сите был не более 15%.

### 5.3 Определение нормальной плотности цементного теста

Нормальная плотность цементного теста  $НГ_{ц}$  – это отношение массы воды  $m_B$  к массе цемента  $m_{ц}$  для получения цементного теста нормальной (стандартной) вязкости:

$$НГ_{ц} = \frac{m_B}{m_{ц}} 100\% , \quad (5.2)$$

где

$НГ_{ц}$  – нормальная плотность цементного теста, %;

$m_B$  – масса воды, г;

$m_{ц}$  – масса портландцемента, г.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают его в сферическую металлическую чашу (рисунок 5.4, *а*), предварительно протертую влажной тканью.

Затем в цементе делают углубление, куда в один прием вливают предварительно отмеренную, в количестве, необходимом для получения цементного теста нормальной густоты, воду. Количество воды для первого пробного затвердения может быть принято 110–112 см<sup>3</sup>.

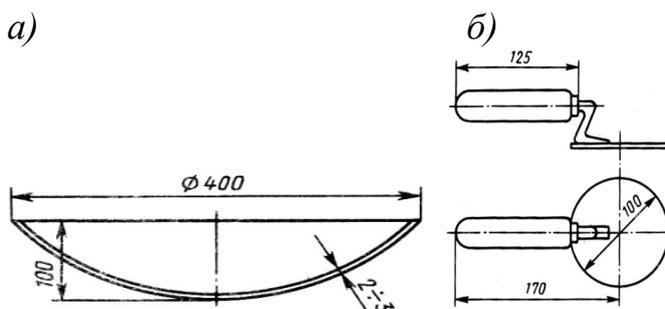


Рисунок 5.4 – Оборудование для приготовления цементного теста

*а* – чаша; *б* – лопатка

Углубление, в которое была налита вода, с помощью стальной лопатки (рисунок 5.4, *б*) заполняют цементом и через 30 с после этого осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой во взаимно перпендикулярных направлениях, периодически поворачивая чашу на 90°.

Продолжительность перемешивания с момента введения воды в цемент – 5 мин.

Нормальную густоту определяют по ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика (рисунок 5.5, *а*), в котором вместо иглы используют металлический пестик диаметром 10 мм (рисунок 5.5, *б*).

Масса подвижного стержня прибора вместе с пестиком должна быть (300±2) г. Перед началом испытания проверяют свободное падение подвижного стержня прибора, чистоту пестика, положение стрелки, которая должна стоять на нуле при соприкосновении пестика со стеклянной пластинкой, смазывают кольцо и пластинку тонким слоем машинного масла.

После окончания перемешивания цементное тесто укладывают в один прием в кольцо (рисунок 5.5, *в*), которое 5–6 раз встряхивают, постукивая пластинкой с прижатым к ней кольцом о поверхность стола. Избыток цементного теста срезают ножом.

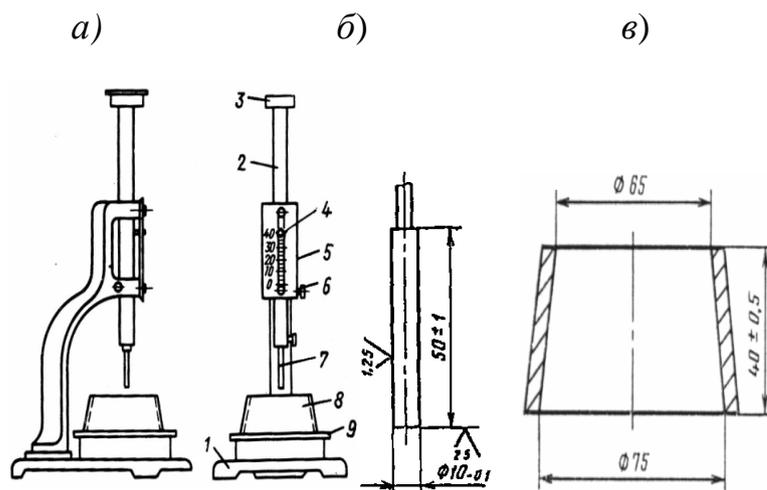


Рисунок 5.5 – Оборудование для определение нормальной густоты цементного теста

*a* – прибор Вика: 1 – станина; 2 – стержень; 3 – площадка; 4 – стрелка; 5 – шкала; 6 – зажимной винт; 7 – игла; 8 – кольцо; 9 – пластинка; *б* – пестик (увеличено); *в* – кольцо (увеличено)

Кольцо на стеклянной пластинке ставят под стержень прибора Вика, пестик приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют его в таком положении зажимным винтом.

Затем быстро отвинчивают зажимной винт, и стержень вместе с пестиком свободно погружается в тесто. Через 30 с от момента освобождения стержня по шкале прибора фиксируют глубину погружения пестика.

Густота цементного теста считается нормальной, если пестик *не доходит* до стеклянной пластинки на 5–7 мм. Если он, погружаясь в цементное тесто, останавливается выше, то опыт повторяют с большим количеством воды, а если ниже – с меньшим, добиваясь погружения пестика на глубину, соответствующую нормальной густоте теста.

Количество добавляемой воды выражают в процентах от массы цемента с точностью до 0,25%.

Нормальная густота является мерой водопотребности портландцемента.

#### 5.4 Определение сроков схватывания цементного теста

Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика (рисунок 5.6, *в*), но вместо пестика вставляют иглу сечением 1мм<sup>2</sup> (диаметр иглы 1,1 мм) и длиной 50 мм (рисунок 5.6, *з*).

С целью сохранения подвижной массы прибора на верхнюю часть стержня устанавливают дополнительный груз (входит в комплект прибора), чтобы масса стержня с иглой составляла (300±2) г. Перед опытом кольцо и пластинку смазывают тонким слоем машинного масла.

Цементное тесто *нормальной густоты* приготавливают по методике, изложенной выше, с использованием оборудования (рисунок 5.6, а, б), в котором компоненты перемешивают в течение м мин. Сразу после приготовления тесто помещают в кольцо прибора Вика, установленное на стеклянной или металлической пластинке, слегка встряхивают 5–6 раз для удаления воздуха. Избыток теста снимают ножом, поверхность выравнивают.

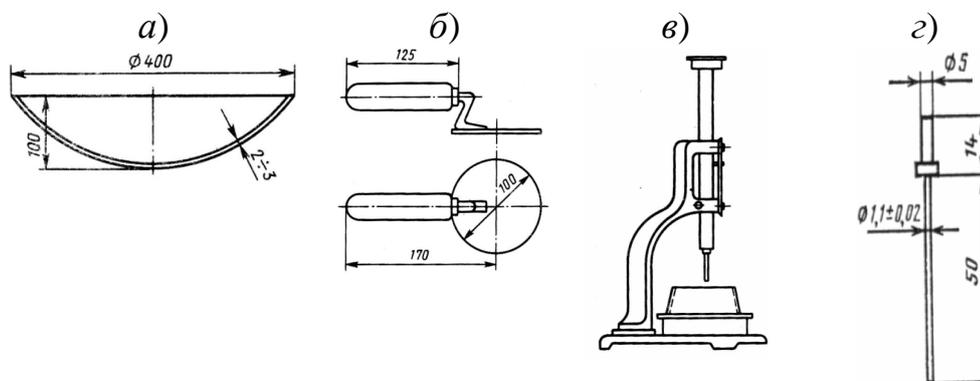


Рисунок 5.6 – Оборудование для определения сроков схватывания цементного теста нормальной густоты

а – чаша; б – лопатка; в – прибор Вика; г – игла

Кольцо с цементным тестом устанавливают на столик прибора, опускают стержень до соприкосновения иглы с поверхностью теста и закрепляют стержень винтом, затем освобождают стержень и игла должна свободно погружаться в цементное тесто.

В начале испытания, пока тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку и ее изгиба, рекомендуется слегка задерживать подвижный стержень прибора рукой.

Как только тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, стержень с иглой опускается свободно. Момент начала схватывания должен быть определен при свободном опускании иглы.

Иглу погружают в тесто через каждые 5 мин. в последующее время, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в одно и то же место. После каждого погружения иглу вытирают, удаляя остатки цементного теста.

**Началом схватывания** цементного теста считается период времени, прошедший с момента введения воды до того момента, когда игла прибора Вика впервые не дойдет до поверхности пластинки на 1–2 мм.

**Концом схватывания** цементного теста считается период времени от введения воды до того момента, когда игла прибора Вика впервые опустится в тесто не более чем на 2 мм.

Сроки схватывания являются стандартной характеристикой процесса твердения цементного теста нормальной густоты.

Начало схватывания цемента должно наступать *не ранее 45 мин* от начала затворения.

Конец схватывания – цемента должно наступать *не позднее 10 ч* от начала затворения.

## 5.5 Определение марки цемента

**Марка цемента** – это стандартная характеристика прочности цементно-песчаного раствора нормальной консистенции после 28-ми суток твердения в нормальных (стандартных) условиях.

Предел прочности при сжатии и изгибе через 28 суток твердения характеризует марку цемента. Для испытания изготавливают образцы размером 40×40×160 мм из цементно-песчаного раствора состава 1:3.

В качестве мелкого заполнителя используется *стандартный песок* по ГОСТ 6139-2003 – кварцевый природный песок с нормированным зерновым и химическим составом, предназначенный для испытаний цемента.

## 5.6 Определение нормальной консистенции цементно-песчаного раствора

Нормальная консистенция цементно-песчаного раствора  $НК_{Ц}$  – это отношение массы воды  $m_B$  к массе цемента  $m_{Ц}$ , при котором цементно-песчаный раствор приобретает нормальную (стандартную) вязкость, которая определяется по стандартной методике.

$$НК_{Ц} = \frac{m_B}{m_{Ц}}, \quad (5.3)$$

где

$НК_{Ц}$  – нормальная консистенция цементно-песчаного раствора;

$m_B$  – масса воды, г;

$m_{Ц}$  – масса портландцемента, г.

### *Методика приготовления цементно-песчаного раствора*

Отвешивают 500 г цемента и 1500 г нормального вольского песка, высыпают их в сферическую чашку (рисунок 5.7, а) и перемешивают цемент с песком лопаткой (рисунок 5.7, б) в течение 1 мин.

В центре сухой смеси делают углубление и вливают в него 200 г воды (В/Ц = 0,4). Затем смесь, тщательно растирая, перемешивают в течение 5 мин.

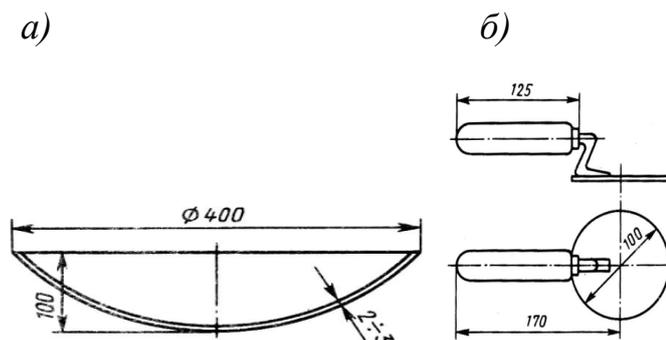


Рисунок 5.7 – Оборудование для приготовления цементно-песчаного раствора нормальной консистенции

а – чаша; б – лопатка

### Методика приготовления цементно-песчаного раствора при помощи лопастной мешалки

Компоненты загружают в предварительно протертую влажной тканью чашу лопастной мешалки (рисунок 5.8) в следующей последовательности: песок, вода, цемент. Чашу устанавливают на мешалку и производят перемешивание в течение  $(120 \pm 10)$  с.

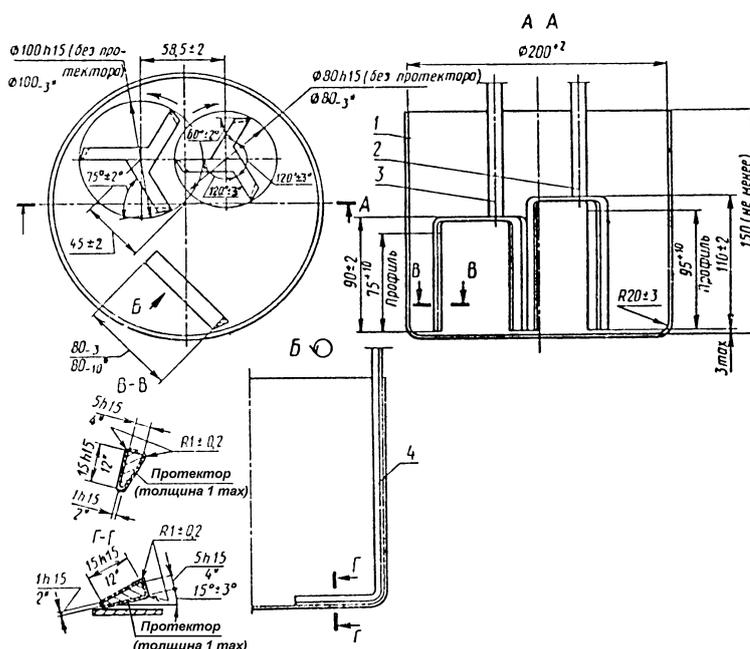


Рисунок 5.8 – Схема лопастной мешалки

По окончании перемешивания определяют консистенцию раствора с помощью конуса и встряхивающего столика (рисунок 5.9).

Перед укладкой смеси в конус внутреннюю поверхность его и стеклянный диск слегка увлажняют.

Растворную смесь укладывают в форму-конус двумя слоями равной толщины. Каждый слой тщательно уплотняют металлической штыковкой (рисунок 5.9, б).

Нижний слой штыкуют 15 раз, а верхний – 10 раз. Во время укладки и уплотнения раствора конус прижимают рукой к стеклянному диску.

Затем снимают надставку конуса, излишек раствора срезают ножом и форму-конус медленно поднимают. Вращая рукоятку маховика, встряхивают столик 30 раз в течение 30 с. При этом конус цементного раствора расплывается. Затем измеряют расплыв конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

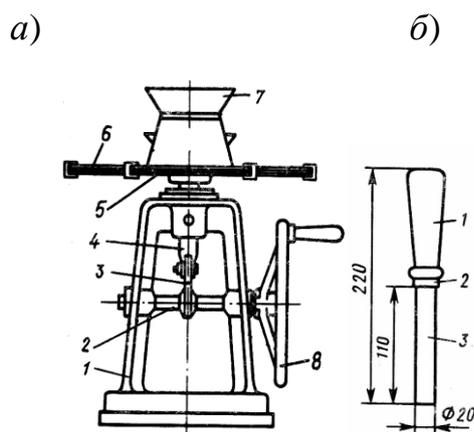


Рисунок 5.9 – Оборудование для определения нормальной консистенции цементно-песчаного раствора

*a* – встряхивающий столик: 1 – станина; 2 – вал; 3 – кулачок; 4 – ось; 5 – горизонтальный диск; 6 – лист зеркального стекла; 7 – форма-конус; 8 – маховик;  
*б* – штыковка (увеличено): 1 – ручка; 2 – кольцо; 3 – стержень

Консистенцию строительного раствора считают нормальной, если расплыв конуса оказался равным 106–115 мм. При меньшем или большем расплыве конуса раствор затворяют вновь с большим или меньшим количеством воды, добиваясь требуемого диаметра расплыва. Водопотребность раствора нормальной консистенции выражают в виде водоцементного отношения (В/Ц); его записывают в журнал и в дальнейшем используют для изготовления образцов-балочек.

### ***Методика изготовления образцов-балочек из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции***

Образцы-балочки формируют в трехгнездовых металлических формах (рисунок 5.10, *a*, *б*). Форму собирают, внутреннюю поверхность стенок и поддона смазывают машинным маслом. На форму помещают насадку (рисунок 5.10, *в*) и заполняют форму раствором.

На каждый намеченный срок испытания изготавливают 3 образца. Для уплотнения раствора подготовленную форму с насадкой закрепляют на стан-

дартной лабораторной виброплощадке (рисунок 5.11) и включают лабораторную виброплощадку на 3 мин.

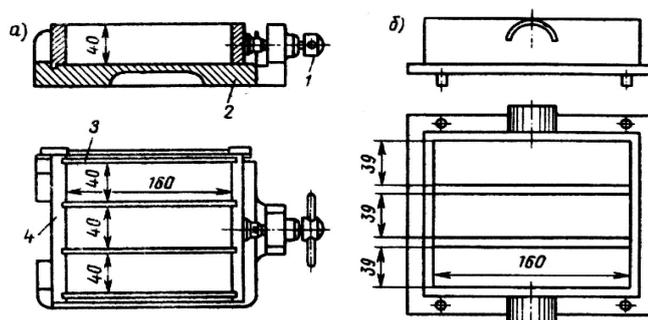


Рисунок 5.10 – Форма металлическая

*a* – форма металлическая (вид сбоку и сверху): 1 – зажим; 2 – основание; 3 – боковая пластина; 4 – торцевая пластина;  
*б* – насадка (вид сверху и сбоку)

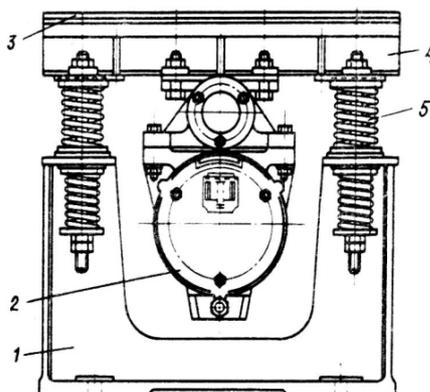


Рисунок 5.11 – Виброплощадка лабораторная

1 – станина; 2 – электродвигатель; 3 – площадка; 4 – рама; 5 – пружина

После этого излишек раствора срезают, заглаживают поверхность образцов вровень с краями формы и образцы маркируют.

Образцы в формах хранят *над водой* в ванне с гидравлическим затвором (рисунок 5.12) в течение  $(24 \pm 2)$  ч. Затем образцы расформовывают и укладывают *в ванну с водой* с температурой  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , где хранят до момента испытания.

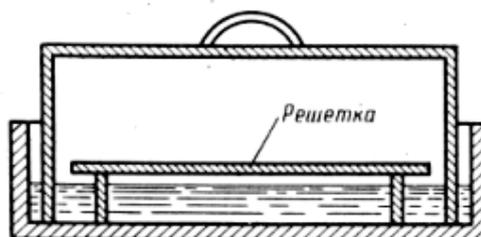


Рисунок 5.12 – Ванна с гидравлическим затвором

## 5.7 Методика определения пределов прочности образцов-балочек из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции при изгибе и сжатии

Для определения марки цемента образцы-балочки в возрасте 28 суток с момента их изготовления испытывают на изгиб, а затем каждую из шести половинок – на сжатие.

Образцы-балочки испытывают на изгиб при помощи прибора МИИ-100 (рисунок 5.13, а).

Образец-балочку устанавливают на опорные валики изгибающего устройства, чтобы те грани образца, которые при изготовлении его были горизонтальными, находились в вертикальном положении.

Расстояния между центрами опорных валиков 100 мм, а передающий нагрузку валик расположен посередине между опорами. Предел прочности при изгибе образцов-балочек  $R_{изг}$  считывается с регистрирующего прибора в кгс/см<sup>2</sup> или вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3P \cdot \ell}{2b \cdot h^2} \quad (5.4)$$

где

$P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$\ell$  – расстояние между опорами, м;

$b$  – ширина образца, м;

$h$  – высота образца, м.

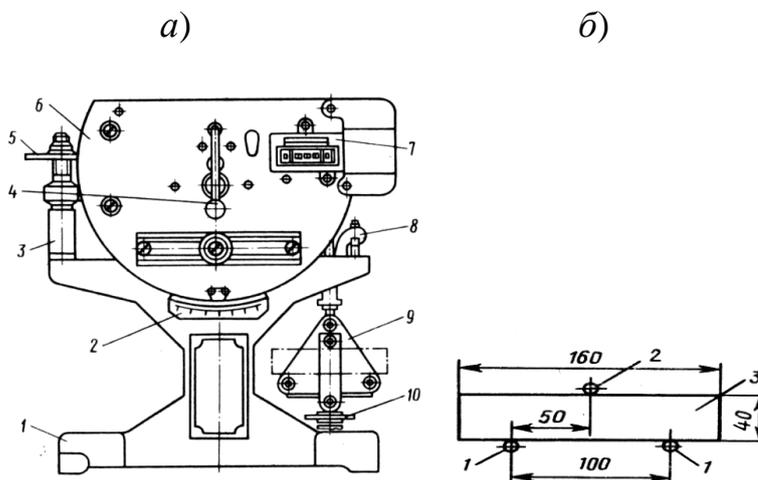


Рисунок 5.13 – Прибор МИИ-100

а – схема прибора МИИ-100: 1 – станина; 2 – шкала; 3, 4, 5 – регулировочные приспособления; 6 – коромысло; 7 – показывающее и регистрирующее устройство; 8 – подвеска; 9 – обойма с образцом; 10 – устройство для регулирования зазора;

б – схема нагружения образца-балочки: 1 – нижние опоры; 2 – верхняя опора

Предел прочности при изгибе образцов цементного раствора вычисляют как среднее арифметическое из 2-х наибольших результатов испытания трех образцов-балочек.

Предел прочности при сжатии определяют путем испытания из 6-ти половинок балочек, полученных при испытании образцов на изгиб, на гидравлическом прессе (рисунок 5.14).

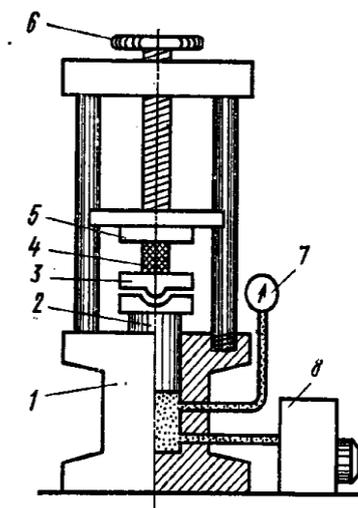


Рисунок 5.14 – Схема гидравлического пресса

1 – станина; 2 – поршень; 3 – нижняя опорная плита на шарнире; 4 – образец для испытания; 5 – верхняя опорная плита; 6 – винтовое приспособление для регулирования расстояния между плитами; 7 – манометр; 8 – маслонасос

Для передачи нагрузки на половинки балочек используют стандартные пластинки размером  $40 \times 62,5$  мм и площадью  $25 \text{ см}^2$  (рисунок 5.15, а). Каждую половинку балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, совпадали с рабочими поверхностями, а упоры пластинок плотно прилегали к торцовой гладкой стенке образца (рисунок 5.15, б).

Нагрузка при испытании должна возрастать непрерывно до разрушения образца. При испытании образца на сжатие скорость увеличения нагрузки должна быть около  $5 \text{ кН/с}$ .

Предел прочности при сжатии каждого образца равен частному от деления значения разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластинки, равную  $25 \text{ см}^2$ .

Предел прочности образца  $R_{СЖ}$  вычисляют с точностью до 1 МПа ( $9,8 \text{ кгс/см}^2$ ) по формуле:

$$R_{СЖ} = \frac{P}{F}, \quad (5.5)$$

где

$R_{СЖ}$  – предел прочности образца, кПа (кгс/см<sup>2</sup>);  
 $P$  – разрушающее усилие прессы, кН (кгс);  
 $F$  – площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).

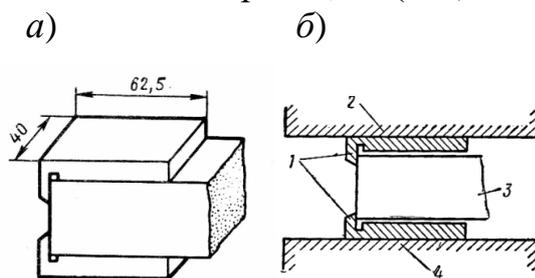


Рисунок 5.15 – Определение предела прочности при сжатии

*a* – стандартные пластинки с половинкой балочки;  
*б* – схема испытания: 1 – стандартные пластинки; 2 – верхняя плита прессы;  
3 – образец; 4 – нижняя плита прессы

Предел прочности при сжатии образцов, вычисляют как среднее арифметическое 4-х наибольших результатов шести испытанных образцов и делают заключение о марке испытанного цемента.

Таблица 5.2 – Марка портландцемента в зависимости от предела прочности при изгибе и сжатии

Обозначение вида цемента	Марка	Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )			
		при изгибе в возрасте, сут		при сжатии в возрасте, сут	
		3	28	3	28
ПЦ-Д0, ПЦ-Д5,	300	–	4,4 (45)	–	29,4 (300)
ПЦ-Д20, ШПЦ	400	–	5,4 (55)	–	39,2 (400)
	500	–	5,9 (60)	–	49,0 (500)
	550	–	6,1 (62)	–	53,9 (550)
	600	–	6,4 (65)	–	58,8 (600)
ПЦ-Д20-Б	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	49,0 (500)
ШПЦ-Б	400	3,4 (35)	5,4 (55)	21,5 (220)	39,2 (400)

## **6 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА**

### **6.1 Мелкий заполнитель - песок**

**Песок** – рыхлая смесь горных пород с размерами частиц от 0,14 мм до 5 мм.

Для приготовления тяжелого бетона используются пески естественные и искусственные, фракционированные и не фракционированные.

По минеральному составу естественные пески подразделяют на кварцевые, кварце-полевошпатовые, карбонатные, смешанные.

Вредными примесями в песках являются глины, которые обволакивают зерна песка и препятствуют сцеплению их с цементным камнем, понижают прочность бетона, повышают водопотребность бетонной смеси и приводят к снижению морозостойкости. Сернистые и сернокислые соединения способствуют коррозии бетона, слюды снижают прочность бетона, т.к. они слабо сцепляются с цементным камнем. Наличие в песке зерен аморфного кремнезема может вызвать щелочную коррозию бетона.

### **6.2 Определение истинной плотности песка с помощью пикнометра**

Плотность песка определяют в пикнометре (рисунок 6.1) емкостью 100 мл с риской на шейке. Пробу песка высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Затем бюкс с песком охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлористым кальцием. Из высушенного песка отвешивают две навески по 10 г каждая, всыпают их в два чистых высушенных и предварительно взвешенных пикнометра (рисунок 6.1), после чего каждый пикнометр взвешивают.

Затем оба пикнометра с навесками заливают водой, перемешивают содержимое и ставят каждый пикнометр в наклонном положении на песчаную или водяную баню. Содержимое пикнометра кипятят в течении 15–20 мин для удаления пузырьков воздуха.

После удаления воздуха пикнометр обтирают, охлаждают до температуры помещения, доливают до метки дистиллированной водой и взвешивают.

Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют до метки дистиллированной водой и снова взвешивают.

Плотность песка определяют с точностью до  $0,01 \text{ г/см}^3$ .



Рисунок 6.1 – Пикнометр

За окончательный результат принимают среднее арифметическое определений плотности 2-х навесок.

### 6.3 Определение истинной плотности песка с помощью мерного цилиндра

Для ориентировочного определения плотности материала можно воспользоваться мерным цилиндром емкостью от 100 до 250 см<sup>3</sup> с ценой деления 1 см<sup>3</sup> или 2 см<sup>3</sup>.

В этом случае в цилиндр наливают жидкость на 2/3 его объема, отмечают уровень по нижнему мениску жидкости, затем осторожно высыпаят в него навеску песка массой 50 г и вновь отмечают уровень жидкости.

По разности конечного и начального уровней определяют объем высыпанного в цилиндр песка. Затем по приведенной ниже формуле определяют истинную плотность песка:

$$\rho_{и} = \frac{m}{V_2 - V_1}, \quad (6.1)$$

где

$m$  – навеска песка, г;

$V_2$  – объем жидкости с песком (по нижнему мениску), см<sup>3</sup>;

$V_1$  – первоначальный объем жидкости (по нижнему мениску), см<sup>3</sup>.

За плотность принимают среднее арифметическое плотности испытаний.

### 6.4 Определение насыпной плотности песка

**Насыпная плотность** – масса единицы объема песка в естественно-насыпном состоянии:

$$\rho_{н} = \frac{m}{V_{н}} \quad (\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3) \quad (6.2)$$

где

$m$  – масса песка (г, кг, т);

$V_H$  – объем песка в естественно-насыпном состоянии ( $\text{см}^3$ ,  $\text{дм}^3$ ,  $\text{м}^3$ ).

Для определения насыпной плотности песка в сухом состоянии среднюю пробу песка массой около 5 кг высушивают в сушильном шкафу, при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы и просеивают через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

Затем песок всыпают металлическим совком с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр вместимостью 1 л.

Когда цилиндр заполнится песком с некоторым избытком в виде конуса, избыток осторожно удаляют линейкой. После этого цилиндр с песком взвешивают и вычисляют насыпную плотность.

Окончательный результат вычисляют как среднее арифметическое 2-х определений.

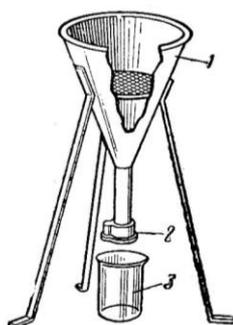


Рисунок 6.2 – Прибор для определения насыпной плотности песка

1 – металлическая воронка с ситом №5; 2 – шибер; 3 – мерный стакан

**Пустотность песка  $P_{пуст}$**  при естественной влажности определяют по предварительно найденным значениям истинной плотности и насыпной плотности:

$$P_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_u}\right) 100\% \quad (6.3)$$

где

$P_{пуст}$  – пустотность песка, проценты;

$\rho_n$  – насыпная плотность песка,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$\rho_u$  – средняя плотность песка,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

Пустотность песка вычисляют с точностью до 0,1%.

Этот показатель песка необходимо знать для расчета состава бетона, определения плотности песка, а также для расчетов, связанных с перевозкой песка, проектированием складов заполнителей и т.д.

## 6.5 Определение зернового состава и модуля крупности песка

Зерновой состав определяют путем рассева песка на стандартном наборе сит.

Аналитическую пробу песка массой не менее 2000 г высушивают до постоянной массы. Высушенную до постоянной массы пробу песка просеивают через сита с круглыми отверстиями диаметрами 10 и 5 мм.

Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм ( $Gp_5$ ) и св. 10 мм ( $Gp_{10}$ ) в процентах по массе по формулам:

$$a_{10} = \frac{m_{10}}{M} \cdot 100; \quad (6.4)$$

$$a_5 = \frac{m_5}{M} \cdot 100, \quad (6.5)$$

где

$m_{10}$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г;

$m_5$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 мм, г;

$M$  – масса пробы, г.

Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску массой не менее 1000 г для определения зернового состава песка.

Подготовленную навеску песка просеивают через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сетками № 1,25; 063; 0315 и 016.

Просеивание производят механическим или ручным способами. Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой навески. При механическом просеивании его продолжительность для применяемого прибора устанавливают опытным путем.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падения зерен песка.

По результатам просеивания вычисляют:

а) частный остаток на каждом сите ( $a_i$ ) в процентах по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (6.6)$$

где

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

$M$  – масса просеиваемой навески, г.

б) полный остаток на каждом сите ( $A_i$ ) в процентах по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (6.7)$$

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

в) модуль крупности песка ( $M_K$ ) без зерен размером крупнее 5 мм по формуле:

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (6.8)$$

где  $A_{2,5}$ ,  $A_{1,25}$ ,  $A_{0,63}$ ,  $A_{0,315}$ ,  $A_{0,16}$  – полные остатки на сите с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и на ситах с сетками № 1,25; 063; 0315; 016, %.

Результат определения зернового состава песка оформляют в соответствии с таблицей 6.1 или изображают графически в виде кривой просеивания в соответствии с рисунком 6.3.

Таблица 6.1 – Результаты определение зернового состава песка

Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах					Проход через сито с сеткой № 016(014), % по массе
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	
Частный	$a_{2,5}$	$a_{1,25}$	$a_{0,63}$	$a_{0,315}$	$a_{0,16(0,14)}$	
Полный	$A_{2,5}$	$A_{1,25}$	$A_{0,63}$	$A_{0,315}$	$A_{0,16(0,14)}$	–

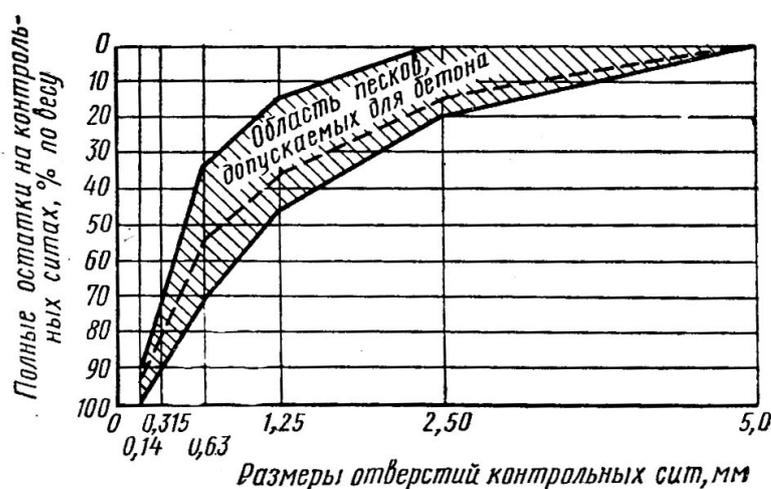


Рисунок 6.3 – Кривая просеивания песка

## 6.6 Определение содержания глины в комках

Содержание глины в комках определяют путем отбора частиц, отличающихся от зерен песка вязкостью.

Аналитическую пробу песка просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, берут из нее не менее 100 г песка, высушивают до постоянной массы и рассеивают на ситах с отверстиями диаметром 2,5 мм и с сеткой № 1,25. Из полученных фракций песка отбирают навески массой:

5,0 г – фракции св. 2,5 до 5 мм;

1,0 г – фракции от 1,25 до 2,5 мм.

Каждую навеску песка высыпают тонким слоем на стекло или металлический лист и увлажняют при помощи пипетки. Из навески стальной иглой выделяют комки глины, отличающиеся вязкостью от зерен песка, применяя в необходимых случаях лупу. Оставшиеся после выделения комков зерна песка высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание комков глины в каждой навеске песка ( $G_{л2,5}$ ,  $G_{л1,25}$ ) в процентах определяют по формулам:

$$G_{л2,5} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100; \quad (6.9)$$

$$G_{л1,25} = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \cdot 100, \quad (6.10)$$

где

$m_1$ ,  $m_2$  – массы навески песка фракции соответственно от 2,5 до 5 мм и от 1,25 до 2,5 мм до выделения глины, г;

$m_1$ ;  $m_3$  – массы зерен песка фракции соответственно от 2,5 до 5 мм и от 1,25 до 2,5 мм после выделения глины, г.

Содержание комков глины в пробе песка ( $G_{л}$ ) в процентах вычисляют по формуле:

$$G_{л} = \frac{a_{2,5} + a_{2,5} + a_{1,25} + a_{1,25}}{100}, \quad (6.11)$$

где

$a_{2,5}$ ,  $a_{1,25}$  – частные остатки в процентах по массе на ситах с отверстиями размером 2,5 и 1,25 мм.

## 6.7 Определение содержания пылевидных и глинистых частиц в песке

Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по изменению массы песка после отмучивания частиц крупностью до 0,05 мм.

Аналитическую пробу песка просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, песок, прошедший через сито, высушивают до постоянной массы и берут из него навеску массой 1000 г.

Навеску песка помещают в сосуд для отмучивания (рисунок 6.4), заливают водой так, чтобы высота слоя воды над песком была около 200 мм.

После этого содержимое снова энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин.

Через 2 мин сливают сифоном полученную при промывке суспензию, оставляя слой над песком высотой не менее 30 мм. Затем песок снова заливают водой до указанного выше уровня.

Промывку песка в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки будет оставаться прозрачной.

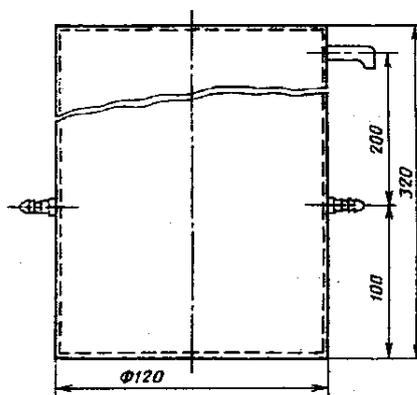


Рисунок 6.4 – Сосуд для отмучивания песка

После отмучивания промытую навеску высушивают до постоянной массы  $m_1$ .

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц ( $П_{ОТМ}$ ) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$П_{ОТМ} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (6.12)$$

где

$m$  – масса высушенной навески до отмучивания, г;

$m_1$  – масса высушенной навески после отмучивания, г.

Песок в зависимости от значений нормируемых показателей качества (зернового состава, содержания пылевидных и глинистых частиц) подразделяют на два класса.

В зависимости от зернового состава песок подразделяют на *группы* по крупности:

**I класс** – очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;

**II класс** – очень крупный (песок из отсевов дробления), повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Таблица 6.2 – Значения модуля крупности  $M_k$  для групп песка

Группа песка	Модуль крупности $M_k$
Очень крупный	св. 3,5
Повышенной крупности	св. 3,0 до 3,5
Крупный	св. 2,5 до 3,0
Средний	св. 2,0 до 2,5
Мелкий	св. 1,5 до 2,0
Очень мелкий	св. 1,0 до 1,5
Тонкий	св. 0,7 до 1,0
Очень тонкий	до 0,7

Таблица 6.3 – Остаток песка на сите с сеткой № 063

Группа песка	Полный остаток на сите № 063, процент по массе
Очень крупный	Св. 75
Повышенной крупности	Св. 65 до 75
Крупный	Св. 45 » 65
Средний	Св. 30 » 45
Мелкий	Св. 10 » 30
Очень мелкий	До 10
Тонкий	Не нормируется
Очень тонкий	Не нормируется

Таблица 6.4 – Содержание зерен крупностью св. 10,5 и менее 0,16 мм, в процентах по массе, не более

Класс и группа песка	Содержание зерен крупностью		
	св. 10 мм	св. 5 мм	менее 0,15 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	10
Крупный и средний	5	15	15
Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20
Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не нормируется

Таблица 6.5 – Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках, в процентах по массе, не более

Класс и группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц		Содержание глины в комках	
	в песке природном	в песке из отсевов дробления	в песке природном	в песке из отсевов дробления
<b>I класс</b>				
Очень крупный	–	3	–	0,35
Повышенной крупности, крупный и средний	2	3	0,25	0,35
Мелкий	3	5	0,35	0,50
<b>II класс</b>				
Очень крупный	–	10	–	2
Повышенной крупности, крупный и средний	3	10	0,5	2
Мелкий и очень мелкий	5	10	0,5	2
Тонкий и очень тонкий	10	Не нормируется	1,0	0,1

## 7 ЩЕБЕНЬ (ГРАВИЙ) ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

**Щебень (гравий)** – рыхлая смесь горных пород с размерами частиц от 5 мм до 70 мм.

### 7.1 Определение зернового состава щебня (гравия)

Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем отсева пробы на стандартном наборе сит.

Пробу просеивают ручным или механическим способами через сита с отверстиями, собранными последовательно в колонку, начиная снизу с сита с отверстиями наименьшего размера.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания следующим упрощенным способом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падение зерен щебня (гравия).

По результатам просеивания вычисляют **частный остаток** на каждом сите ( $a_i$ ) в процентах по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (7.1)$$

где

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

$m$  – масса пробы, г.

Затем определяют **полные остатки** ( $A_i$ ) на каждом сите в процентах от массы пробы, равные сумме частных остатков на данном и всех ситах с большими размерами отверстий:

$$A_i = a_i + a_{i+1} + a_{i+2} + \dots + a_n, \quad (7.2)$$

где

$a_i, a_{i+1}, a_{i+2}, \dots, a_n$  – частные остатки на  $i$ -м сите и всех ситах стандартного набора с большими размерами отверстий;

$i, i+1, i+2, \dots, n$  – порядковые номера сит стандартного набора.

По данным ситового анализа строят кривую отсева, характеризующую зерновой состав щебня (гравия) (рисунок 7.1). Для этого по оси абсцисс откладывают размеры отверстий сит в миллиметрах, на оси ординат – величину полных остатков в процентах.

**Наибольшая  $D_{НАИБ}$  крупность** щебня (гравия) характеризуется размером отверстий сита, полный остаток на котором составляет не более 5%.

**Наименьшая  $D_{НАИМ}$  крупность** щебня (гравия) характеризуется размерами отверстий сита, полный остаток на котором составляет не менее 95%.

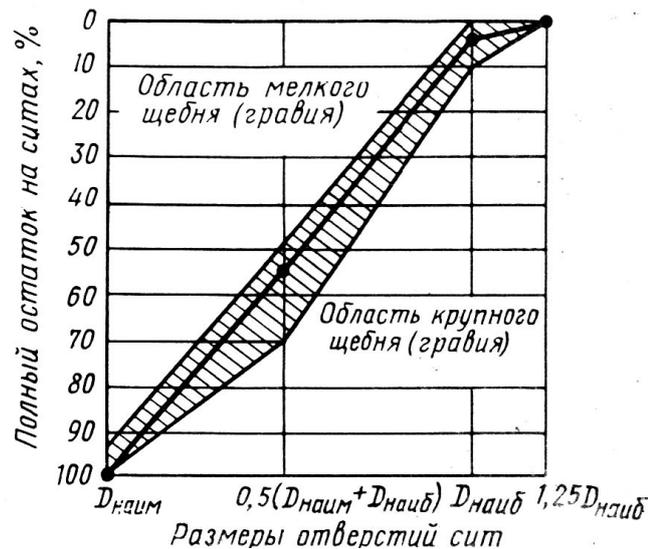


Рисунок 7.1 – Кривая отсева

## 7.2 Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц

Содержание пылевидных и глинистых частей в щебне (гравии) определяют по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц крупностью до 0,05 мм.

Пробу щебня (гравия)  $m$  помещают в сосуд для отмучивания (рисунок 7.2), заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки на зернах щебня (гравия) или комков глины, если они имеются в пробе.

После этого в сосуд со щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя над щебнем была 200 мм; содержимое сосуда перемешивают деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин.

Через 2 мин после окончания перемешивания сливают полученную суспензию. При сливе суспензии необходимо оставлять слой ее над щебнем (гравием) высотой не менее 30 мм.

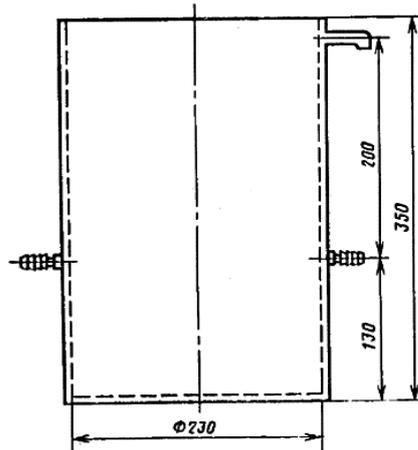


Рисунок 7.2 – Сосуд для отмучивания

Затем щебень (гравий) вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня (гравия) в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет оставаться прозрачной.

Воду в сосуд для отмучивания щебня (гравия) наливают до верхнего сливного отверстия и сливают суспензию через два нижних отверстия.

После окончания отмучивания промытую пробу высушивают до постоянной массы  $m_1$ .

Содержание в щебне (гравии) отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц  $P_{отм}$  в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$P_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (7.3)$$

где

$m$  – первоначальная масса пробы, г;

$m_1$  – масса пробы после отмучивания, г.

### 7.3 Содержание в щебне (гравии) глины в комках

Содержание в щебне (гравии) глины в комках определяют путем отбора из пробы частиц, отличающихся вязкостью.

Аналитические пробы щебня (гравия) готовят путем рассева лабораторной пробы на ситах стандартного набора.

Каждую аналитическую пробу щебня (гравия) высыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют. Из пробы выделяют комки глины, отличающиеся вязкостью от зерен щебня (гравия) и супеси. Выделенные комки глины и щебень (гравий) высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание комков глины в каждой пробе щебня (гравия) ( $P_{гл}$ ) в процентах определяют по формуле:

$$P_{гл} = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (7.4)$$

где

$m_1$  – масса глины в комках, кг;

$m$  – масса аналитической пробы щебня (гравия), кг.

#### 7.4 Определение содержания в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы

Содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы оценивают количеством зерен, толщина или ширина которых менее длины в три и более раза.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) или игловатой формы определяют отдельно для каждой фракции щебня (гравия).

При наличии и испытательном щебне (гравии) какой-либо фракции в количестве, меньшем 5 % по массе, содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в этой фракции не определяют.

Аналитическую пробу взвешивают и из нее выбирают зерна, толщина или ширина которых меньше длины в три и более раза.

В сомнительных случаях соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона (рисунок 7.3) или штангенциркуля. При использовании шаблона измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксируют стопорным винтом и измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между усиками шаблона, установленными на расстоянии, в три раза меньшем.

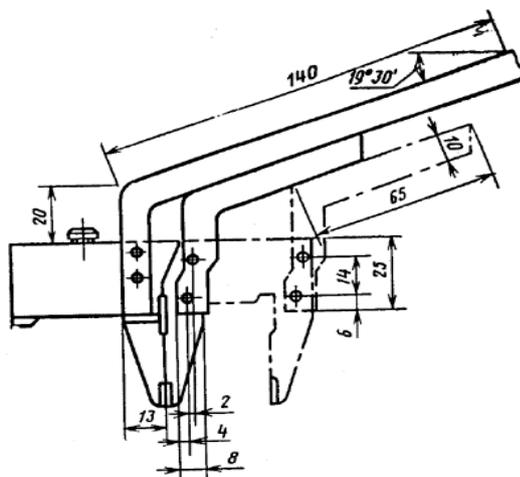


Рисунок 7.3 – Передвижной шаблон

Если зерно пройдет между усиками, то его относят к зернам пластинчатой или игловатой формы. Зерна пластинчатой и игловатой формы взвешивают.

Содержание в каждой фракции щебня (гравия) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в рассчитывают в процентах.

## 7.5 Определение дробимости щебня (гравия)

**Дробимость щебня (гравия)** определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно.

Щебень (гравий) фракции от 5 до 10, св. 10 до 20 или св. 20 до 40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей ( $D$ ) и наименьшей ( $d$ ) крупности испытываемой фракции.

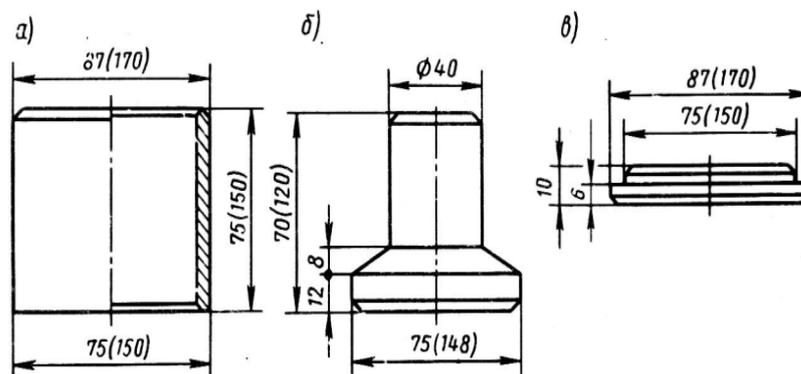


Рисунок 7.4 – Цилиндр для определения дробимости

*a* – цилиндр; *б*– плунжер; *в* – съемное дно

Из остатка на сите с отверстиями размером, равным  $d$ , отбирают две аналитические пробы массой не менее 0,5 кг каждая при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг – при испытании в цилиндре диаметром 150 мм.

Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят и испытывают фракции св. 10 до 20 или св. 20 до 40 мм.

При определении марки щебня (гравия) применяют цилиндр диаметром 150 мм. Для приемочного контроля качества щебня (гравия) фракции от 5 до 10 и св. 10 до 20 мм допускается применять, кроме цилиндра диаметром 150 мм, цилиндр диаметром 75 мм.

Пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер. Плита на плунжере должна быть на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты плунжера не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия). После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса.

Повышая силу нажатия пресса на 1 – 2 кН (100 – 200 кгс) в секунду, доводят ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до

50 кН (5000 кгс), а при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – до 200 кН (20000 кгс).

После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито с отверстиями размером:

1,25 мм – для щебня (гравия) размером фракций от 5 до 10 мм;

2,5 мм – для щебня (гравия) размером фракций св. 10 до 20 мм;

5,0 мм – для щебня (гравия) размером фракций св. 20 до 40 мм.

Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают.

По данным испытания вычисляют коэффициент дробимости  $D_p$  в процентах с погрешностью до 1% по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (7.5)$$

где

$m$  – масса аналитической пробы щебня (гравия), г;

$m_1$  – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), г.

За результат принимают среднее арифметическое значение 2-х параллельных испытаний.

## 7.6 Определение содержания зерен слабых пород в щебне (гравии)

Содержание в щебне (гравии) зерен слабых пород определяют путем их выделения по характерным признакам.

Берут аналитическую пробу, высушивают ее до постоянной массы. Содержание в щебне (гравии) зерен слабых пород определяют отдельно для каждой фракции щебня (гравия). При наличии в испытываемом щебне (гравии) какой-либо фракции в количестве, меньшем 5 % по массе, содержание зерен слабых пород в этой фракции не определяют.

Производят разборку пробы каждой фракции щебня (гравия), выделяя зерна слабых пород с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>).

При выделении зерен слабых пород руководствуются следующими отличительными признаками: зерна слабых пород легко разламываются руками и разрушаются легкими ударами молотка.

При царапании иглой на поверхности зерна остается след (на поверхности зерен изверженных и метаморфических пород оставляет след стальная игла, на поверхности зерен осадочных карбонатных пород – алюминиевая).

Кроме того, слабые зерна карбонатных пород обычно имеют окатанную форму.

В целях уточнения содержания зерен слабых пород в щебне допускается использование механического индикатора прочности камня типа Т-3.

В зависимости от размера испытываемой фракции щебня устанавливают на приборе сменный щелевой упор с шириной щели 2,9 мм для зерен фракции св. 10 до 20 мм, с шириной щели 4,2 мм – для более крупных зерен. При этом расстояние между краем ребер щелевого упора и осью, проходящей через острия зубьев прибора, должно быть равно ширине щели.

Каждое выделенное при разборке пробы щебня сомнительное по прочности зерно вставляют клиновидным концом между зубьями прибора до щелевого упора.

После этого вращением диска винтового механизма прибора сжимают зубья и «откусывают» кусочек камня. По контрольной стрелке манометра определяют предел прочности камня при растяжении. Шкала манометра градуирована для случая применения упора со щелью шириной 4,2 мм; при применении упора со щелью 2,9 мм показания манометра удваивают.

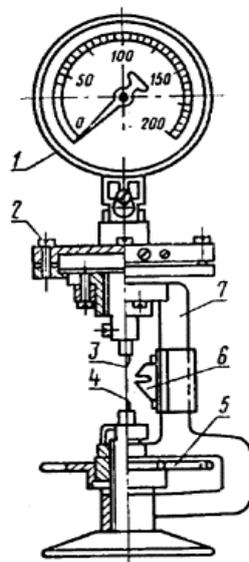


Рисунок 7.5 – Механический индикатор прочности камня Т-3

1 – манометр; 2 – гидравлическая мессдоза; 3 – верхний зуб; 4 – нижний зуб;  
5 – щелевой упор; 6 – диск винтового механизма; 7 – корпус прибора

Для перехода от показаний прибора к пределу прочности камня при сжатии предварительно устанавливают переходной коэффициент по данным испытания зерен щебня механическим индикатором Т-3 и определяют прочность образцов породы правильной формы сжатия на прессе.

Зерна щебня, прочность которых ниже 20 МПа, и их осколки взвешивают и уточняют содержание в пробе слабых пород.

Выделенные из пробы зерна слабых пород взвешивают и их содержание ( $X_{сл}$ ) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_{сл} = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (7.6)$$

где

$m_1$  – масса зерен слабых пород, г;  
 $m$  – общая масса пробы, г.

### 7.7 Определение сопротивления щебня (гравия) удару на копре ПМ

Сопротивление щебня (гравия) удару на копре ПМ определяют по степени разрушения зерен при испытании, оцениваемой изменением зернового состава пробы.

Испытанию на *копре ПМ* (рисунок 7.6) подвергают только щебень (гравий) фракции 20 – 40 мм. Для чего пробу щебня (гравия) массой 3 кг в воздушно – сухом состоянии просеивают через сита с отверстиями 40 и 20 мм. Зерна крупнее 40 мм предварительно дробят до получения зерен указанных размеров.

Из щебня (гравия), оставшегося на сите с отверстиями 20 мм, готовят две пробы.

Испытываемый щебень (гравий) всыпают в специальный мерный сосуд внутренним диаметром 105 мм и внутренней высотой 58 мм.

Лишний щебень (гравий) снимают вровень с краями сосуда. Сосуд со щебнем (гравием) взвешивают  $m_1$ .

Массу каждой аналитической пробы  $m$  в граммах вычисляют по формуле:

$$m = m_1 - m_2, \quad (7.7)$$

где

$m_1$  – масса пробы щебня (гравия) вместе с мерным сосудом;

$m_2$  – масса мерного сосуда, г.

Испытываемый щебень (гравий) не должен содержать пылевидных и глинистых частиц более 1% по массе, в противном случае щебень (гравий) предварительно промывают и высушивают.

Каждую пробу щебня (гравия) насыпают из мерного цилиндра в стальную ступку копра ПМ и разравнивают его поверхность для достижения одного уровня расположения зерен в ступке.

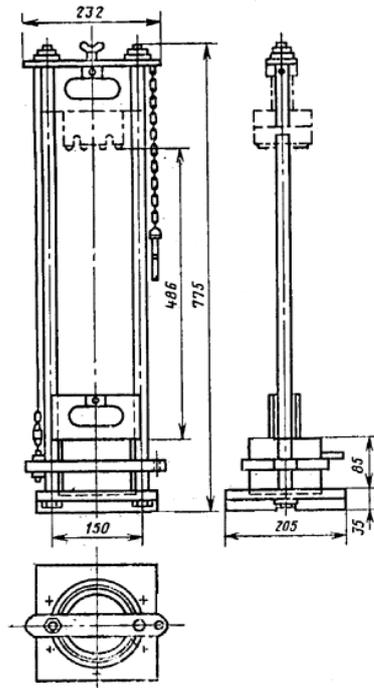


Рисунок 7.6 – Копер ПМ

Пробу щебня (гравия) подвергают ударам бойка массой 5 кг, падающего с высоты 50 см.

После каждого удара бойка ступку с помощью рукоятки поворачивают на  $45^\circ$  и устанавливают по направлению указателей, сделанных на подставке копра ПМ.

После 40 ударов бойка все содержимое ступки просеивают через сита с отверстиями 5; 3; 1 и 0,5 мм, остатки на каждом сите взвешивают и вычисляют полные остатки на каждом сите.

Показатель сопротивления щебня (гравия) удару на копре  $У$  вычисляют по формуле:

$$У = \frac{25}{4 - A}, \quad (7.8)$$

где

$A$  – показатель крупности пробы после испытания, вычисляемый по формуле:

$$A = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{m}, \quad (7.9)$$

где

$m_1, m_2, m_3, m_4$  – полные остатки на ситах с отверстиями диаметрами 5; 3; 1 и 0,5 мм, г;

$m$  – первоначальная масса пробы, г.

В качестве результата принимают среднее арифметическое значение показателя сопротивления удару из 2-х параллельных определений.

## 7.8 Определение наличия органических примесей в гравии (щебня из гравия)

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

Испытывают фракцию гравия (щебня из гравия) с наибольшим номинальным размером зерен 20 мм.

Гравий массой около 1 кг в воздушно-сухом состоянии просеивают через сито с отверстиями диаметром 20 мм.

Готовят эталонный раствор, растворяя 2,5 мл 2%-ного раствора танина в 97,5 мл 3%-ного раствора гидроксида натрия. Приготовленный раствор перемешивают и оставляют на 24 ч.

Гравием заполняют мерный цилиндр до уровня 130 мл и заливают его 3 %-ным раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл. Содержимое цилиндра перемешивают и оставляют на 24 ч, повторяя перемешивание через 4 ч после начала испытания. Затем сравнивают окраску жидкости, отстоявшейся над пробой, с цветом эталонного раствора или стеклом, цвет которого соответствует цвету эталонного раствора.

Гравий (щебень из гравия) 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 содержимое сосуда подогревают в течение 2–3 ч на водяной бане при температуре 60–70°C и, сравнивая цвет жидкости над пробой с цветом эталонного раствора, решают вопрос о пригодности заполнителя для приготовления бетона или раствора.

При окраске жидкости, одинаковой или более темной, чем цвет эталонного раствора, необходимо проведение испытания заполнителя в бетонах или растворах в специализированных лабораториях.

## 7.9 Определение истинной плотности горной породы и зерен щебня (гравия)

Истинную плотность горной породы и зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема измельченного высушенного материала с использованием *прибора Ле-Шателье*.

Куски камня или зерна щебня (гравия) очищают металлической щеткой от пыли, измельчают до крупности менее 5 мм, после чего перемешивают и сокращают пробу примерно до 150 г. Полученную пробу вновь измельчают до крупности менее 1,25 мм, перемешивают и сокращают до 30 г.

Приготовленную таким образом пробу измельчают в порошок в чугунной или фарфоровой ступке, насыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до ком-

натной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлоридом кальция, после чего отвешивают две навески массой 10 г каждая.

Подготовленную пробу всыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлоридом кальция. После этого отвешивают две навески массой по 50 г каждая.

Прибор (рисунок 7.7) наполняют водой до нижней отметки, причем уровень воды определяют по нижнему мениску.

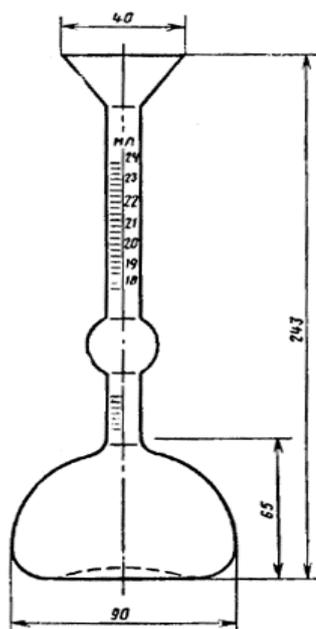


Рисунок 7.7 – Прибор Ле Шателье

Каждую навеску через воронку прибора всыпают небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе, определяемый по нижнему мениску, не поднимется до риски с делением 20 мл (или другим делением) в пределах верхней градуированной части прибора. Для удаления пузырьков воздуха прибор рекомендуется слегка встряхнуть.

Остаток измельченной пробы щебня (гравия), не вошедший в прибор, взвешивают и определяют плотность порошка  $\rho$  в г/см<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}, \quad (7.10)$$

где

$m$  – масса высушенной навески порошка, г;

$m_1$  – масса остатка, г;

$V$  – объем воды, вытесненный порошком, см.

Расхождение, между результатами двух определений плотности не должно быть больше  $0,02 \text{ г/см}^3$ . В случаях больших расхождений производят третье определение и принимают для расчета два ближайших значения.

За результат принимают среднее арифметическое значение 2-х параллельных испытаний.

### 7.10 Определение средней плотности и пористости горной породы и зерен щебня (гравия)

Среднюю плотность горной породы и зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема кусков породы или зерен щебня (гравия), который оценивают с использованием весов для гидростатического взвешивания.

Для определения средней плотности горной породы отбирают пять образцов правильной формы или пять кусков произвольной формы размером св. 40 до 70 мм. Каждый образец очищают металлической щеткой от рыхлых частиц, пыли и высушивают до постоянной массы.

Пробу высушивают до постоянной массы, просеивают через сито с размером отверстий, соответствующим наименьшему номинальному размеру зерен данной фракции щебня (гравия) и из остатка на сите отвешивают две навески по 1000 г каждая.

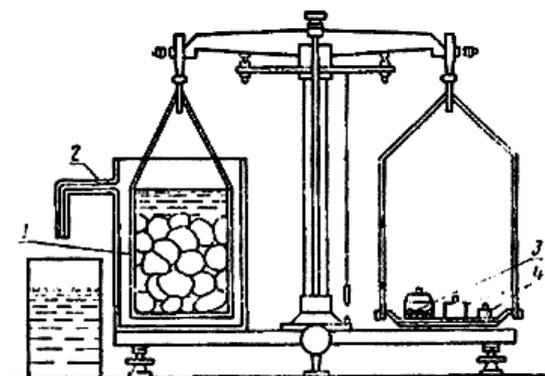


Рисунок 7.8 – Весы для гидростатического взвешивания

1 – сетчатый (перфорированный) стакан; 2 – сосуд со сливом для воды; 3 – стаканчик с дробью для уравновешивания массы сетчатого стакана в воде; 4 – разновесы

Образцы горной породы произвольной формы или навеску щебня (гравия) насыщают водой, погружая их в воду комнатной температуры на 2 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности образцов или щебня (гравия) не менее чем на 20 мм.

Насыщенные образцы породы или пробу щебня (гравия) вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают сначала на настольных гирных или циферблатных, а затем на

гидростатических весах, помещая пробу в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду.

Образцы горной породы произвольной формы с мелкими открытыми порами вместо насыщения допускается покрывать пленкой парафина толщиной около 1 мм. Для этого высушенный до постоянной массы образец погружают в разогретый парафин и охлаждают на воздухе. В случае обнаружения при остывании на парафиновой пленке пузырьков или повреждений их заглаживают с помощью горячей металлической пластинки или проволоки.

Подготовленный образец взвешивают на настольных гирных или циферблатных, а затем на гидростатических весах.

Для определения средней плотности образцов горной породы правильной формы измеряют их размеры, определяют объем и вычисляют среднюю плотность.

Среднюю плотность образцов горной породы произвольной формы или щебня (гравия)  $\rho_C$  в г/см<sup>3</sup> вычисляют по формуле:

$$\rho_C = \frac{g \cdot \rho_B}{g_1 - g_2}, \quad (7.11)$$

где

$g$  – вес образца или пробы в сухом состоянии, г;

$g_1$  – вес образца или пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г;

$g_2$  – вес образца или пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г;

$\rho_B$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

Среднюю плотность парафинированных образцов горной породы произвольной формы  $\rho_C$  в г/см<sup>3</sup> вычисляют по формуле

$$\rho_C = \frac{m}{\frac{g_1 - g_2}{\rho_B} - \frac{m_1 - m}{\rho_{II}}}, \quad (7.12)$$

где

$m$  – масса образца в сухом состоянии, г;

$m_1$  – масса парафинированного образца в сухом состоянии, г;

$g_1$  – вес парафинированного образца на воздухе, г;

$g_2$  – вес парафинированного образца в воде, г;

$\rho_{II}$  – плотность парафина (может быть принята равной 0,93 г/см<sup>3</sup>);

$\rho_B$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

За результат принимают среднее арифметическое значение результатов испытания 5-ти образцов горной породы или двух образцов щебня (гравия).

При этом расхождение между результатами двух определений средней плотности щебня (гравия) не должно превышать 0,02 г/см<sup>3</sup>. При больших расхождениях проводят третье определение и вычисляют среднее арифметическое 2-х ближайших значений.

Пористость горной породы или зерен щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений истинной плотности и средней плотности.

Пористость горной породы или зерен щебня (гравия)  $P_{ПОР}$  в процентах по объему вычисляют по формуле:

$$P_{ПОР} = \left(1 - \frac{\rho_C}{\rho_H}\right)100, \quad (7.13)$$

где

$\rho_C$  – средняя плотность горной породы или зерен щебня (гравия), г/см<sup>3</sup> ;  
 $\rho_H$  – истинная плотность горной породы или зерен щебня (гравия), г/см<sup>3</sup>.

### 7.11 Определение насыпной плотности щебня (гравия)

**Насыпную плотность** определяют путем взвешивания определенного объема щебня (гравия) данной фракции, высушенного до постоянной массы.

Щебень (гравий) в объеме, обеспечивающем проведение испытания, высушивают до постоянной массы.

Щебень (гравий) насыпают в предварительно взвешенный цилиндр с высоты 10 см до образования конуса, который снимают стальной линейкой вровень с краями (без уплотнения) движением к себе, после чего цилиндр со щебнем (гравием) взвешивают.

В зависимости от наибольшего номинального размера щебня (гравия) применяют цилиндры в соответствии с таблицей 7.1.

Насыпную плотность щебня (гравия)  $\rho_H$  вычисляют с точностью до 10 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_H = \frac{m_1 - m}{V} \quad (7.14)$$

где

$m$  – масса мерного цилиндра, кг;

$m_1$  – масса мерного цилиндра со щебнем (гравием), кг;

$V$  – объем мерного цилиндра, м<sup>3</sup>.

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию щебня (гравия).

За результат принимают среднее арифметическое значение 2-х параллельных испытаний.

Таблица 7.1 – Характеристики мерных цилиндров

Объем мерного цилиндра, л	Размеры цилиндра, мм		Фракция щебня (гравия), мм
	Диаметр	Высота	
5	185	185	От 5 до 10
10	234	234	Св.10 до 20
20	294	294	Св.20 до 40
50	400	400	Св.40

### 7.12 Определение пустотности щебня (гравия)

**Пустотность щебня (гравия)** определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня (гравия).

Пустотность щебня (гравия)  $P_{пуст.}$  в процентах по объему вычисляют по формуле:

$$P_{пуст.} = \left( 1 - \frac{\rho_H}{\rho_C \cdot 1000} \right) \cdot 100, \quad (7.15)$$

где

$\rho_H$  – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_C$  – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см<sup>3</sup>.

### 7.13 Определение водопоглощения горной породы (щебня, гравия)

**Водопоглощение** определяют путем сравнения массы образцов горной породы или проб щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

Для определения водопоглощения горной породы отбирают пять образцов правильной формы или пять кусков произвольной формы размером от 40 до 70 мм. Образцы очищают металлической щеткой от рыхлых частиц и пыли и высушивают до постоянной массы.

Для определения водопоглощения щебня (гравия) берут аналитическую пробу, промывают и высушивают ее до постоянной массы.

Образцы горной породы или навески щебня (гравия) укладывают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов или пробы щебня (гравия) не менее чем на 20 мм.

В таком положении образцы или пробу выдерживают в течение 48 ч, после чего их вынимают из сосуда, удаляют влагу с поверхности отжатой влажной мягкой тканью и каждый образец или пробу взвешивают, при этом

масса воды, вытекающей из пор образца или зерен щебня (гравия) на чашку весов, должна включаться в массу образца (пробы).

Водопоглощение  $W_m$  в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (7.16)$$

где

$m$  – масса образца или пробы в сухом состоянии, г;

$m_1$  – масса образца или пробы в насыщенном водой состоянии.

За результат принимают среднее арифметическое значение 5-ти параллельных испытаний.

### 7.14 Определения влажности щебня (гравия)

Влажность определяют путем сравнения массы пробы щебня (гравия) в состоянии естественной влажности и после высушивания.

Из щебня (гравия) испытываемой фракции берут аналитическую пробу.

Пробу щебня (гравия) насыпают в сосуд и взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы.

Влажность щебня (гравия)  $W$  в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_E - m}{m} \cdot 100, \quad (7.17)$$

где

$m_E$  – масса пробы в состоянии естественной влажности, г;

$m$  – масса пробы в сухом состоянии, г.

### 7.15 Определение предела прочности горной породы при сжатии

**Прочность горных пород** определяют путем сжатия и доведения до разрушения образцов (кубов или цилиндров) на прессе.

Из пробы горной породы, отобранной по ГОСТ 23845, представленного монолитом или керном, при помощи бурового или камнерезного станка изготавливают пять образцов в виде цилиндра диаметром и высотой 40–50 мм или куба с ребром 40–50 мм.

Грани образцов, к которым прикладывают нагрузку пресса, обрабатывают на шлифовальном станке (круге), при этом должна быть обеспечена параллельность указанных граней.

Правильность формы образцов проверяют стальным угольником. Неперпендикулярность смежных граней кубов, а также опорных и боковых поверхностей цилиндров не должна превышать 1 мм на 100 мм длины.

Направление приложения нагрузки должно быть нормальным к опорным поверхностям образцов и слоистости породы. В необходимых случаях образцы испытывают при приложении нагрузки параллельно слоистости породы.

Образец устанавливают в центре опорной плиты пресса.

Нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью 0,5 МПа (5 кгс/см<sup>2</sup>) в секунду.

Предел прочности образца  $R_{СЖ}$  вычисляют с точностью до 1 МПа (10 кгс/см<sup>2</sup>) по формуле:

$$R_{СЖ} = \frac{P}{F}, \quad (7.18)$$

где

$P$  – разрушающее усилие пресса, Н (кгс);

$F$  – площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).

За результат принимают среднее арифметическое значение 5-ти параллельных испытаний.

### 7.16 Определение коэффициента снижения прочности горной породы при насыщении водой

**Коэффициент снижения прочности горной породы** при насыщении водой определяют по отношению прочности образцов в насыщенном водой и сухом состояниях.

Для испытания берут десять образцов правильной формы.

Из них пять образцов насыщают водой, пять образцов высушивают до постоянной массы.

Коэффициент снижения прочности горной породы  $K_p$  при насыщении водой вычисляют по формуле:

$$K_p = \frac{R_E}{R_C} \leq 1 \quad (7.19)$$

где

$R_B$  – среднее арифметическое значение предела прочности насыщенных водой образцов, Па (кгс/см<sup>2</sup>);

$R_C$  – среднее арифметическое значение предела прочности образцов, высушенных до постоянной массы, Па (кгс/см<sup>2</sup>).

## 8 БЕТОНЫ

**Бетоны** – искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно подобранной, перемешанной и уплотненной **бетонной смеси**.

**Бетонная смесь** – это смесь из вяжущего вещества, мелкого заполнителя, крупного заполнителя и воды, взятых в определенном соотношении.

**Вяжущее вещество и вода** являются активными составляющими бетона, в результате реакции между ними образуется *цементный камень*, скрепляющий зерна заполнителей

**Заполнители** мелкий и крупный (песок, гравий, щебень) образуют жесткий скелет бетона и уменьшают его усадку, вызываемой усадкой цементного камня при твердении. В легких бетонах пористый заполнитель уменьшает плотность и теплопроводность бетона.

**Добавки** в бетонную смесь вводятся для регулирования подвижности, сроков схватывания, повышения морозостойкости и других свойств бетона.

**По средней плотности** бетоны подразделяются на 5 видов:

1) **особо тяжелый** с плотностью выше  $2600 \text{ кг/м}^3$ , содержащий в качестве заполнителя стальные опилки или зерна (сталебетон), железные руды или барит (баритовый бетон);

2) **тяжелый** (обычный) с плотностью  $2100\text{--}2600 \text{ кг/м}^3$ , содержащий плотные заполнители (кварцевый песок, щебень или гравий из плотных горных пород);

3) **облегченный** с плотностью  $1800\text{--}2100 \text{ кг/м}^3$ ;

4) **легкий** с плотностью  $1200\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$ , содержащий пористые заполнители (керамзит, шлак, пемзу, туф), обычной пористой структуры или крупнопористый;

5) **особо легкий** с плотностью менее  $1200 \text{ кг/м}^3$ ;

### 8.1 Свойства бетонной смеси

По физическому состоянию бетонная смесь занимает промежуточное положение между жидкостями и твердыми телами. Характеризуясь как **пластично-вязкоупругое тело**, бетонная смесь обладает упругостью и прочностью структуры.

Способность дисперсных систем (вяжущее тесто) разжижаться при механическом воздействии и вновь загустевать в спокойном состоянии, называется **тиксотропией**.

**Удобоукладываемость** – способность бетонной смеси заполнять форму, образуя плотную однородную массу.

Удобоукладываемость характеризуется показателями подвижности или жесткости.

**Подвижность** характеризует удобоукладываемость пластичных бетонных смеси и определяется по осадке стандартного конуса.

**Осадка конуса ОК** – это величина равная разности высот металлического конуса (30см) и осевшей бетонной смеси. Измеряется в см (рисунок 8.1).

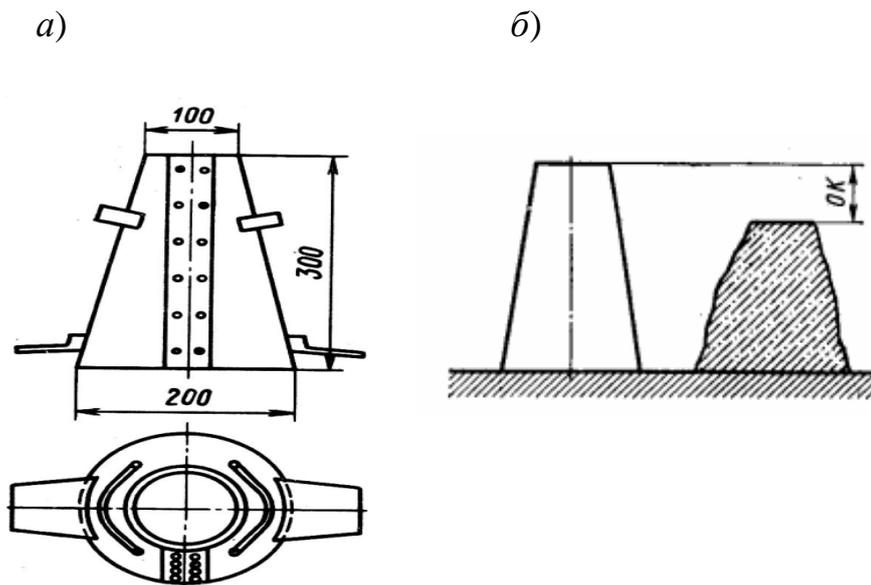


Рисунок 8.1 – Определение осадки конуса ОК подвижной бетонной смеси

а – форма конуса; б – определение величины ОК

**Жесткость** характеризует удобоукладываемость жестких бетонных смесей (для этих смесей  $ОК=0$ ) и определяется на лабораторной виброплощадке, с применением металлического конуса и пригруза.

Жесткость бетонной смеси  $Ж$  определяется по стандартной методике и оценивается продолжительностью вибровоздействия в секундах, при котором бетонная смесь, разжижаясь, займет форму (рисунок 8.2).

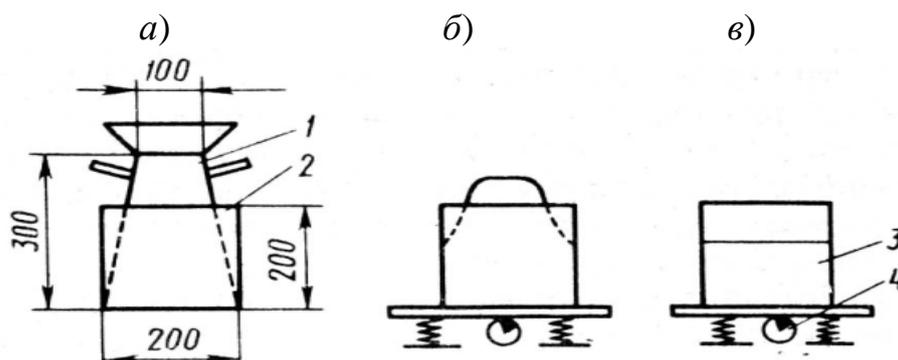


Рисунок 8.2 – Определение жесткости  $Ж$  жесткой бетонной смеси

а – начало испытания: 1 – форма конуса; 2 – форма;  
 б – процесс испытания; в – окончание испытания: 3 – форма;  
 4 – устройство для вибровоздействия

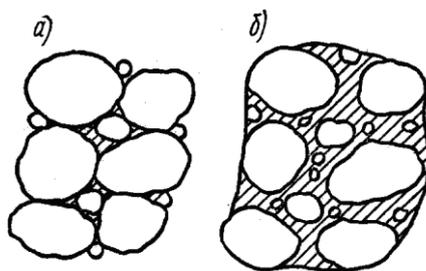


Рисунок 8.3 – Структура бетонной смеси (по В.Г. Скрамтаеву)

*a* – жесткая смесь; *б* – подвижная смесь

**Связность** (нераслаиваемость) – способность бетонной смеси подвергаться внешним механическим воздействиям (при транспортировке, укладке, уплотнении) без потери однородности.

**Расслоение** бетонной смеси возникает, когда составляющие частицы под воздействием силы гравитации перемещаются в бетонной смеси: тяжелый заполнитель перемещается вниз, а часть воды поднимается вверх (рисунок 8.4).

Явление оседания частиц бетонной смеси носит название *седиментации*.

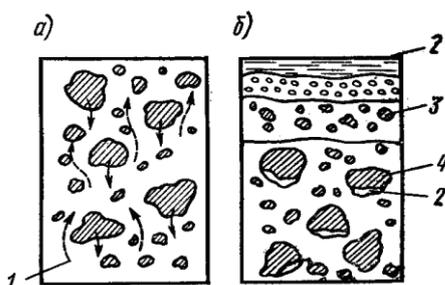


Рисунок 8.4 – Схема расслоения бетонной смеси

*a* – в процессе уплотнения; *б* – после уплотнения:

*1* – направление, по которому отжимается вода; *2* – вода; *3* – мелкий заполнитель; *4* – крупный заполнитель

## 8.2 Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси оценивают по осадке (*ОК*) конуса, сформованного из бетонной смеси.

При подготовке конуса и приспособлений к испытаниям все соприкасающиеся с бетонной смесью поверхности следует очистить и увлажнить.

Конус устанавливают на гладкий лист и заполняют его бетонной смесью марок *П1*, *П2* или *П3* через воронку в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой на его высоту уплотняют штыкованием металлическим стержнем 25 раз.

Бетонной смесью марок *П4* и *П5* конус заполняют в один прием и штыкуют 10 раз.

Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу.

После штыкования бетонной смеси воронку снимают, избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса, и заглаживают поверхность бетонной смеси. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин.

Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5–7 с.

Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх формы и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до верха бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см.

Если после снятия формы конуса бетонная смесь разваливается, измерение не выполняют, и испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Осадку конуса бетонной смеси вычисляют с округлением до 1,0 см, как среднее арифметическое результатов 2-х определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем: на 1 см при  $OK \leq 9$  см; на 2 см при  $OK = 10–15$  см; на 3 см при  $OK \geq 16$  см.

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

### 8.3 Определение жесткости бетонной смеси

Для определения жесткости в закрепленную на виброплощадке форму помещают конус Скрамтаева и заполняют его бетонной смесью через воронку в три слоя одинаковой высоты.

Каждый слой на его высоту уплотняют штыкованием металлическим стержнем 25 раз.

Затем конус осторожно снимают, и включают одновременно виброплощадку и секундомер. Вибрирование осуществляют до тех пор, пока поверхность бетонной смеси не станет *горизонтальной*.

Время (в секундах), необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, характеризует жесткость смеси.

Жесткость бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания с начала заполнения формы при первом определении и до окончания вибрирования при втором определении не должно превышать 10 мин.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с, как среднее арифметическое значение результатов 2-х определений жесткости из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

Таблица 8.1 – Марка бетонной смеси по удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности, см
<i>Ж4</i>	31 и более	–
<i>Ж3</i>	21–30	–
<i>Ж2</i>	11–20	–
<i>Ж1</i>	5–10	–
<i>П1</i>	1–4	4 и менее
<i>П2</i>	–	5–9
<i>П3</i>	–	10–15
<i>П4</i>	–	16 и более

## 9 ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Подбор состава бетона заключается в определении такого *рационального соотношения между материалами*, которое обеспечивает получение проектной прочности бетона, заданную подвижность бетонной смеси, а также наибольшую экономичность состава бетонной смеси, т.е. получение ее с наименьшим расходом цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона.

В результате подбора получают *расход каждого компонента* на 1 м<sup>3</sup> *бетонной смеси*. Состав бетона может быть также выражен в виде соотношения между массами или объемами цемента, песка и щебня (количество цемента при этом принимается за единицу) с обязательным указанием значения В/Ц, т.е. отношения массы воды к массе цемента в свежеприготовленной цементной смеси.

*Исходными данными* при подборе состава бетона являются:

заданная *марка* бетона;

требуемая *удобоукладываемость* бетонной смеси;

*стандартные показатели* применяемых сырьевых материалов (вяжущего, мелких и крупных заполнителей):

для *цемента* – вид, активность и истинную плотность;

для *песка* – истинную плотность, насыпную плотность и влажность;

для *щебня (гравия)* – истинную, среднюю и насыпную плотность, предельную крупность зерен и влажность.

Для подбора состава бетонной смеси предложено несколько методов. Одним из них является метод расчета по абсолютным объемам, разработанный В.Г. Скрамтаевым, в основу которого положено условие, что полученный бетон является абсолютно плотным (т.е. без пор и пустот).

### 9.1 Правила подбора номинального состава бетона

Подбор номинального состава бетона производят по следующим этапам:

- 1) выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;
- 2) расчет начального состава;
- 3) изготовление пробных замесов начального и рабочих составов.
- 4) корректировка рабочих составов бетона;
- 5) назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе вяжущего.

Выбор материалов, применяемых для изготовления бетона, следует производить на основе их паспортных характеристик в соответствии с требованиями стандартов и технических условий.

Материалы, применяемые для подбора состава, должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий на эти материалы.

Активность цемента определяется стандартными методами. Допускается активность цемента для расчета состава бетона принимать равной его гарантированной марке.

**Начальный состав бетона** рассчитывают по фактическим характеристикам исходных материалов.

В качестве варьируемых параметров состава принимают параметры, оказывающие влияние на свойства бетонной смеси и нормируемые показатели качества бетона в зависимости от вида бетона и принятой методики расчета.

Например, для тяжелого бетона в общем случае это цементно-водное отношение, доля песка в смеси заполнителей и расход добавки. При этом для каждого вида бетона устанавливают основной параметр, в большей мере влияющий на его прочность (например, для тяжелого бетона – цементно-водное отношение).

Опытные замесы по начальному и дополнительным составам следует готовить на заполнителях и вяжущем, характеристики которых были приняты при расчете составов.

Объем каждого опытного замеса должен не менее чем на 10% превышать суммарный объем изготавливаемых из него образцов и проб, используемых для контроля свойств бетонной смеси и бетона.

Приготовление опытных замесов производят в лабораторном смесителе принудительного или гравитационного действия. Приготовление опытных замесов объемом до 15 л при подборе состава тяжелого бетона и легкого бетона без структурообразующих добавок допускается производить вручную на предварительно увлажненном противне с перемешиванием в течение 3–5 мин.

Приготовление опытных замесов начинают с перемешивания сухих материалов, а затем постепенно добавляют в замес назначенное по расчету количество воды, раствора добавки или синтетической смолы.

Допускается на основе визуального контроля удобоукладываемости и структуры бетонной смеси вносить изменения в количество отдозированной воды.

После окончания перемешивания отбирают пробы для проверки удобоукладываемости и других свойств бетонной смеси, предусмотренных в техническом задании на подбор состава бетона. При этом определение удобоукладываемости начинают не ранее 15 мин после начала перемешивания смеси с водой.

Если свойства бетонной смеси не соответствуют каким-либо требованиям задания на подбор состава бетона, следует произвести корректировку составов до получения в замесе каждого состава смеси с заданными свойствами.

Бетонную смесь, которая не удовлетворяет требованиям задания по удобоукладываемости, допускается корректировать при вторичном переме-

шивании с добавлением воды, цемента, заполнителей и добавок в необходимых количествах.

После получения бетонной смеси с заданными свойствами определяют ее плотность и для каждого состава рассчитывают фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по формулам.

Режим твердения образцов должен соответствовать принятому режиму твердения бетона в конструкциях, для которых произведен подбор состава бетона.

## 9.2 Порядок расчета по методу абсолютных объемов

### Этап 1 – определение расхода воды $V$

Ориентировочный расход воды  $V$  на 1 м<sup>3</sup> (1000 л) бетонной смеси заданной удобоукладываемости (подвижности или жесткости) находят по специальным графикам или таблицам (таблица 4.1).

Таблица 9.1 – Ориентировочные значения расхода воды в бетонной смеси  $V$

Удобоукладываемость бетонной смеси			Расход воды, кг/м <sup>3</sup> , при наибольшей крупности заполнителя, мм					
подвижные	жесткие		гравия			щебня		
Осадка конуса, ОК, см	жесткость, Ж, с	по техническому вискозиметру	10	20	40	10	20	40
0	31	120–90	150	135	125	160	145	135
0	30–20	80–60	160	145	130	170	155	145
0	20–11	50–30	165	150	135	175	160	150
0	10–5	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

### Этап 2 – определение цементно-водного отношения $C/V$

Для определения цементно-водного отношения ( $C/V$ ) используются эмпирические формулы следующего вида:

а) для бетонов с  $C/V \leq 2,5$  ( $B/C \geq 0,4$ )

$$R_B = A \cdot R_C \left( \frac{C}{B} - 0,5 \right), \quad (9.1)$$

б) для бетонов с  $C/B > 2,5$  ( $B/C < 0,4$ )

$$R_B = A_1 \cdot R_{Ц} \left( \frac{C}{B} + 0,5 \right) \quad (9.2)$$

где

$R_B$  – предел прочности бетона при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения;

$R_{Ц}$  – марка применяемого портландцемента, кгс/см<sup>2</sup>;

$A$  и  $A_1$  – коэффициенты, учитывающие качество заполнителей бетонной смеси (таблица 4.2).

Таблица 9.2 – Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$  в зависимости от качества заполнителей

Характеристика заполнителей	$A$	$A_1$
Высококачественные – чистые фракционированные заполнители из плотных и прочных горных пород	0,65	0,43
Рядовые – заполнители среднего качества, в том числе гравий	0,6	0,4
Пониженного качества – крупный заполнитель низкой прочности, например щебень из карбонатных пород, мелкий песок	0,55	0,37

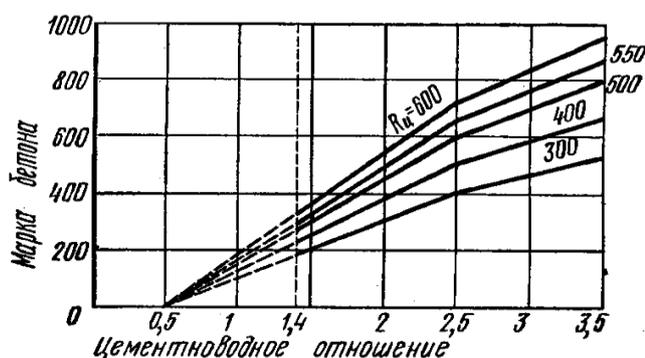


Рисунок 9.1 – Взаимосвязь прочности бетона и  $B/C$  отношения бетонной смеси

$a$  – зависимость прочности тяжелого бетона от  $C/B$  отношения;  $b$  – зависимость прочности тяжелого бетона от  $C/B$  при различных марках цемента  $R_{Ц}$

### Этап 3 – определение расхода цемента $C$

Зная величину цементно-водного отношения  $\frac{C}{B}$  и расход воды  $B$  (этап 1), определяют расход цемента  $C$  в кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси по формуле:

$$Ц = \left( \frac{Ц}{B} \right) B \quad (9.3)$$

Если расход цемента окажется ниже минимально допустимого по нормам, необходимо повысить его до нормативного.

#### **Этап 4 – определение расхода крупного заполнителя *Щ* и мелкого заполнителя *П***

Расчет крупного и мелкого заполнителя определяют, исходя из следующих положений:

а) объем плотно уложенного бетона, принимаемый в расчете равным 1000 л, складывается из объема мелкого  $V_{П}$  и крупного  $V_{Щ}$  заполнителей и объема цементного теста ( $V_{Ц} + V_{В}$ ), заполняющего пустоты между зернами заполнителей:

$$V_{П} + V_{Щ} + V_{Ц} + V_{В} = \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{Щ}{\rho_{Щ}} + \frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} = 1000 \quad (9.4)$$

где

$V_{П}, V_{Щ}, V_{Ц}, V_{В}$  – абсолютные объемы соответственно песка, щебня, цемента и воды, л;

$П, Щ, Ц, В$  – расход соответственно песка, щебня, цемента и воды на 1000л бетонной смеси, кг;

$\rho_{П}, \rho_{Щ}, \rho_{Ц}, \rho_{В}$  – истинная плотность соответственно песка, щебня, цемента и воды, кг/л;

б) вся межзерновая пустотность  $П_{Пуст}^{Щ}$  в крупном заполнителе должна быть заполнена объемом цементно-песчаного раствора ( $V_{Ц} + V_{В} + V_{П}$ ) с некоторым избытком, учитывающую раздвижку зерен  $K_{ИЗБ}$ :

$$V_{П} + V_{Щ} + V_{Ц} = \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} = K_{ИЗБ} \cdot \frac{Щ}{\rho_{Щ}} \left( 1 - \frac{\rho_{Щ}}{\rho_{СрЩ}} \right) \quad (9.5)$$

где

$V_{П}, V_{Ц}, V_{В}$  – абсолютные объемы соответственно песка, цемента и воды, л;

$П, Щ, Ц, В$  – расход соответственно песка, щебня, цемента и воды на 1000л бетонной смеси, кг;

$\rho_{П}, \rho_{Ц}, \rho_{В}$  – истинная плотность соответственно песка, цемента и воды, кг/л;

$\rho_{Щ}, \rho_{СрЩ}$  – насыпная и средняя плотности щебня, кг/л;

$K_{ИЗБ}$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (таблица 9.3).

Таблица 9.3 – Значение коэффициента  $K_{ИЗБ}$  для пластичных бетонных смесей

Расход цемента, кг на 1 м <sup>3</sup> смеси	Коэффициент $K_{ИЗБ}$ при $B/C$				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	1,3	1,36	1,42	–
350	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,4	1,46		–	–

Примечание:

Для других значений  $C$  и  $C/B$  коэффициент  $K_{ИЗБ}$  находят интерполяцией.

Таблица 9.4 – Значение коэффициента  $K_{ИЗБ}$  в зависимости от расхода цемента (Хигеро-вич-Попов)

Расход цемента $C$ , кг на 1 м <sup>3</sup> смеси	Коэффициент $K_{ИЗБ}$ при $B/C$	
	щебень	гравий
250	1,3	1,34
300	1,36	1,42
350	1,42	1,48
400	1,47	1,52

Примечание:

Для других значений  $C$  коэффициент  $K_{ИЗБ}$  находят интерполяцией.

Решая оба уравнения 9.4 и 9.5 совместно, получим расчетную формулу для определения расход крупного заполнителя  $Щ$  ( $G$ ) в кг и расход песка  $П$  в кг на 1000л (1 м<sup>3</sup>) бетонной смеси.

Таким образом, в результате расчета получаем предварительный расход воды  $B$ , цемента  $C$ , крупного заполнителя  $Щ$  и мелкого заполнителя  $П$  в кг на  $1 \text{ м}^3$  (1000 л) бетонной смеси.

### Этап 5 – проверка удобоукладываемости бетонной смеси

Определение удобоукладываемости осуществляется пробным замесом объемом 10 л.

Подвижность бетонной смеси характеризуется стандартной величиной осадки конуса (ОК) в см или Ж в с.

Для подвижных смесей используют металлическую форму усеченного конуса (рисунок 9.2, а) высотой 300 мм с внутренним диаметром нижнего основания 200 мм и верхнего 100 мм.

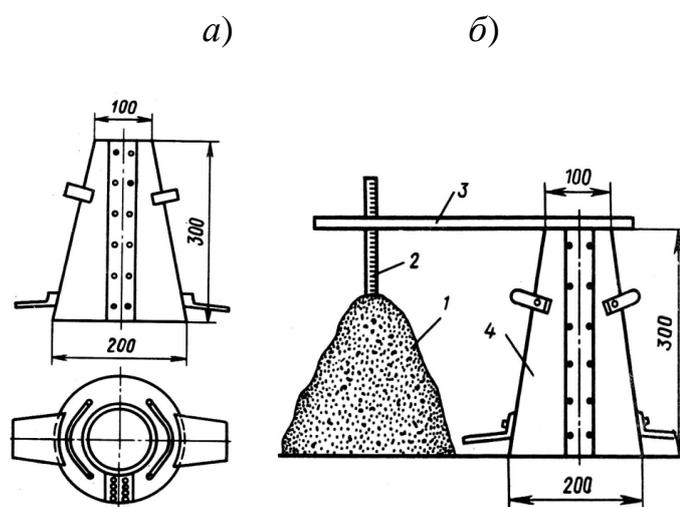


Рисунок 9.2 – Определение осадки конуса (ОК) подвижной бетонной смеси

$a$  – форма конуса;  $b$  – определение величины ОК: 1 – бетонная смесь; 2, 3 – линейки; 4 – форма конуса

Осадку конуса определяют следующим образом. Внутреннюю поверхность формы конуса и лист под ней смачивают водой. В форму укладывают бетонную смесь в три приема слоями до 10 см.

Каждый слой штыкуют металлическим стержнем с круглым концом 25 раз. Избыток бетона срезают, заглаживая поверхность. Затем конус, без перекосов снимают и ставят рядом.

Освобожденная от формы бетонная смесь в зависимости от подвижности дает осадку, которую замеряют при помощи двух линеек (рисунок 9.2, б) с точностью до 1 мм.

Жесткость бетонной смеси (Ж) определяется по стандартной методике и оценивается продолжительностью вибровоздействия в секундах, при котором бетонная смесь, разжижаясь, займет форму (рисунок 9.3).

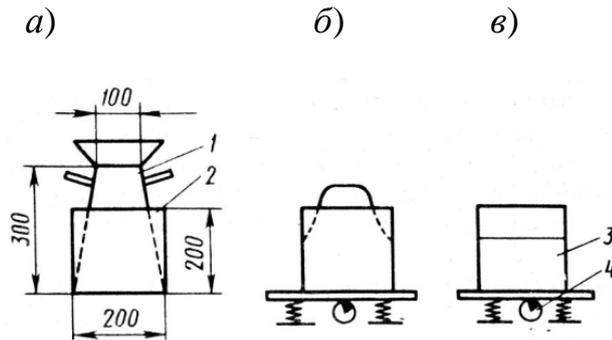


Рисунок 9.3 – Определение жесткости (Ж) жесткой бетонной смеси

*a* – начало испытания: 1 – форма конуса; 2 – форма;  
*б* – процесс испытания; *в* – окончание испытания: 3 – форма; 4 – устройство для вибровоздействия

### Этап 6 – запись состава бетонной смеси

Найденный состав бетона выражают соотношением масс сухих компонентов смеси  $Ц:П:Щ$  и  $Ц/В$  отношением. При этом расход цемента принимают за единицу.

Например, 1:2:4;  $В/Ц = 0,7$ .

### Этап 7 – определение расхода материалов на замес бетоносмесителя

При дозировании суммарный объем сыпучих составляющих смеси (цемента  $V_{ц}$ , песка  $V_{п}$ , щебня  $V_{щ}$ ) значительно превосходит объем бетонной смеси после их смешения с водой. Расход материалов на замес бетоносмесителя определенной емкости  $V$  рассчитывают с учетом коэффициента выхода бетона  $\beta$ , который находят по формуле:

$$\beta = \frac{1000}{V_{п} + V_{п} + V_{щ}} = \frac{1000}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц}} + \frac{П}{\rho_{н.п}} + \frac{Щ}{\rho_{н.щ}}} \quad (9.6)$$

где

$V_{п}, V_{ц}, V_{в}$  – насыпные объемы соответственно песка, цемента и воды, л;

$Ц, П, Щ$  – расход соответственно песка, щебня, цемента на 1000 л бетонной смеси, кг;

$\rho_{н.п}, \rho_{н.ц}, \rho_{н.щ}$  – насыпная плотность соответственно цемента, песка, щебня, кг/л.

Зная коэффициент выхода бетона, определяют дозировку его составных частей в кг на замес бетоносмесителя:

$$Ц_1 = \frac{\beta \cdot V}{1000} Ц; \quad П_1 = \frac{\beta \cdot V}{1000} П; \quad Щ_1 = \frac{\beta \cdot V}{1000} Щ; \quad В_1 = \frac{\beta \cdot V}{1000} В, \quad (9.7)$$

где

$Ц_1, П_1, Щ_1, В_1$  – расход соответственно цемента, песка, щебня и воды на замес бетономешалки, кг;

$V_1$  – объем бетономешалки, л;

$Ц, П, Щ, В$  – расход соответственно цемента, песка, щебня и воды на 1000 л бетонной смеси, кг;

### Этап 8 – изготовление контрольных образцов

Для определения марки бетона, полученной на основе расчетного состава, изготавливают три контрольных образца в виде кубов с ребром 10, 15 или 20 см в зависимости от наибольшего размера зерен щебня (гравия).

Формы (рисунок 9.4, *а, б*) для изготовления образцов смазывают минеральным маслом, затем в них с некоторым избытком укладывают бетонную смесь. Формы со смесью переносят на лабораторную виброплощадку (рисунок 9.5, *в*), вибрируют до прекращения оседания смеси и до появления на ее поверхности цементного теста.

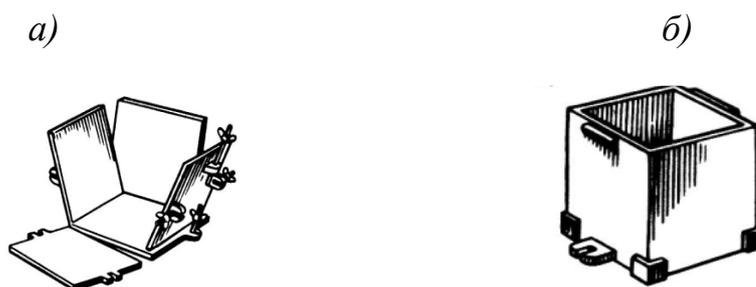


Рисунок 9.4 – Оборудование для формования образцов  
*а, б* – форма разборная;

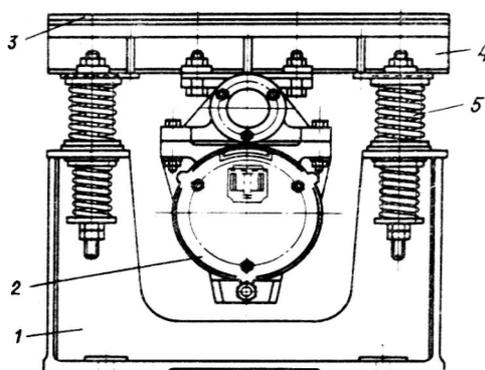


Рисунок 9.5 – Виброплощадка для формования образцов  
*1* – станина; *2* – электродвигатель; *3* – площадка; *4* – рама; *5* – пружина

Образцы в формах, покрытых влажной тканью, выдерживают в течение 1 суток, затем их освобождают из формы и хранят в нормальных условиях при 15–20°C и относительной влажности не менее 90% вплоть до испытания, т.е. в течение последующих 27 суток.

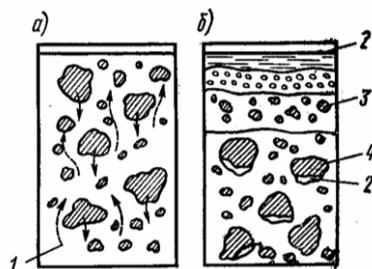


Рисунок 9.6 – Схема расслоения бетонной смеси

*а* – в процессе уплотнения; *б* – после уплотнения: 1 – направление, по которому отжимается вода; 2 – вода; 3 – мелкий заполнитель; 4 – крупный заполнитель

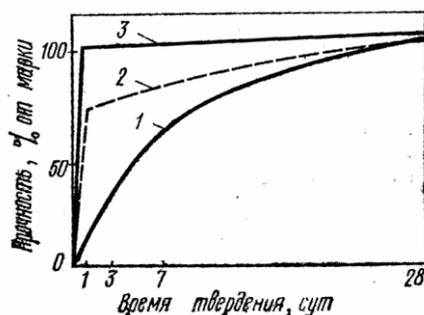


Рисунок 9.7 – Кривые нарастания прочности бетона

1 – нормально твердеющего; 2 – пропаренного при нормальном давлении и температуре 85°C; 3 – пропаренного в автоклаве при давлении насыщенного пара 0,8 МПа и температуре 175°C

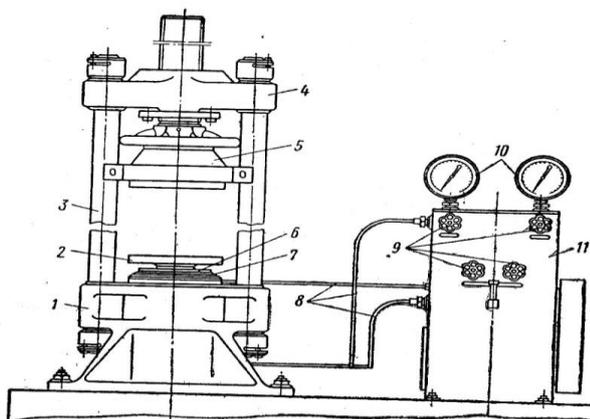


Рисунок 9.8 – Пресс гидравлический

1 – станина; 2 – нижняя опора; 3 – колонны; 4 – верхняя поперечина; 5 – верхняя плита; 6 – поршень; 7 – цилиндр; 8 – маслопровод; 9 – вентили; 10 – манометры; 11 – маслосос с электродвигателем

## Этап 9 – определение прочности контрольных образцов

Перед испытанием образцы-кубы осматривают, измеряют и взвешивают. Испытывают образцы на гидравлических прессах (рисунок 9.8), укладывая каждый из них на опорную плиту пресса так, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям уложенного бетона.

Предел прочности бетона при сжатии в МПа каждого образца-куба определяют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (9.8)$$

где

$P$  – разрушающее усилие пресса, Н (кгс);

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

Величина предела прочности при сжатии бетона характеризуется средним арифметическим значением пределов прочности 3-х образцов.

## 10 СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Определение подвижности, плотности растворной смеси и прочности на сжатие раствора является обязательной для всех видов раствора. Другие свойства растворных смесей и раствора определяют в случаях, предусмотренных проектом или правилами производства работ.

Пробы для испытания растворной смеси и изготовления образцов отбирают до начала схватывания растворной смеси. Объем пробы должен быть не менее 3 л.

Отобранная проба перед проведением испытания должна быть дополнительно перемешана в течение 30 с. Испытание растворной смеси должно быть начато не позднее чем через 10 мин после отбора пробы.

### 10.1 Определение подвижности растворной смеси

**Подвижность** растворной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах глубиной погружения в нее эталонного конуса (рисунок 10.1).

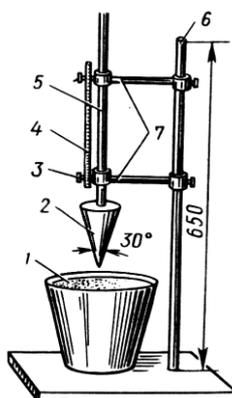


Рисунок 10.1 – Прибор для определения подвижности смеси

1 – сосуд для растворной смеси; 2 – эталонный конус; 3 – зажимной винт; 4 – шкала с делениями; 5 – скользящий стержень; 6 – направляющие; 7 – держатели

Прибор устанавливают на горизонтальной поверхности и проверяют свободу скольжения штанги 4 в направляющих 6.

Сосуд 7 наполняют растворной смесью на 1 см ниже его краев и уплотняют ее путем штыкования стальным стержнем 25 раз и 5-6 кратным легким постукиванием о стол, после чего сосуд ставят на площадку прибора.

Острие конуса 3 приводят в соприкосновение с поверхностью раствора в сосуде, закрепляют штангу конуса стопорным винтом 8 и делают первый отсчет по шкале. Затем отпускают стопорный винт.

Конус должен погружаться в растворную смесь свободно. Второй отсчет снимают по шкале через 1 мин после начала погружения конуса.

Глубину погружения конуса, измеряемую с погрешностью до 1 мм, определяют как разность между первым и вторым отсчетом. Глубину погру-

жения конуса оценивают по результатам двух испытаний на разных пробах растворной смеси одного замеса как среднее арифметическое значение из них и округляют. Разница в показателях частных испытаний не должна превышать 20 мм. Если разница окажется больше 20 мм, то испытания следует повторить на новой пробе растворной смеси.

## 10.2 Определение плотности растворной смеси

**Плотность** растворной смеси характеризуется отношением массы уплотненной растворной смеси к ее объему и выражается в г/см<sup>3</sup>. При определении плотности используется стальной цилиндрический сосуд емкостью 1000±2 мл (рисунок 10.2).

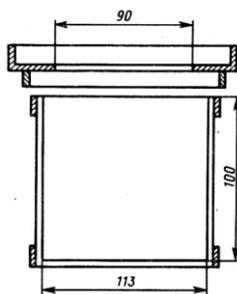


Рисунок 10.2 – Стальной цилиндрический сосуд

Перед испытанием сосуд предварительно взвешивают с погрешностью до 2 г. Затем наполняют растворной смесью с избытком.

Растворную смесь уплотняют путем штыкования стальным стержнем 25 раз и 5–6 кратным легким постукиванием о стол.

После уплотнения избыток растворной смеси срезают стальной линейкой. Поверхность тщательно выравнивают вровень с краями сосуда. Стенки мерного сосуда очищают влажной ветошью от попавшего на них раствора. Затем сосуд с растворной смесью взвешивают с точностью до 2 г.

Плотность растворной смеси  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{1000}, \quad (10.1)$$

где

$m$  – масса мерного сосуда с растворной смесью, г;

$m_1$  – масса мерного сосуда без смеси, г.

Плотность растворной смеси определяют как среднее арифметическое значение результатов двух определений плотности смеси из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 5% от меньшего значения.

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе растворной смеси.

### 10.3 Определение расслаиваемости растворной смеси

**Расслаиваемость** растворной смеси, характеризующая ее связность при динамическом воздействии, определяют путем сопоставления содержания массы заполнителя в нижней и верхней частях свежееотформованного образца размерам 150×150×150 мм.

Лабораторная виброплощадка в загруженном состоянии должна обеспечивать вертикальные колебания частотой 2900±100 в минуту и амплитудой (0,5±0,05) мм. Виброплощадка должна иметь устройство, обеспечивающее при вибрировании жесткое крепление формы с раствором к поверхности стола.

Растворную смесь укладывают и уплотняют в форме для контрольных образцов размерами 150×150×150 мм. После этого уплотненную растворную смесь в форме подвергают вибрационному воздействию на лабораторной виброплощадке в течение 1 мин.

После вибрирования верхний слой раствора высотой (7,5±0,5) мм из формы отбирают на противень, а нижнюю часть образца выгружают из формы путем опрокидывания на второй противень.

Отобранные пробы растворной смеси взвешивают с погрешностью до 2 г и подвергают мокрому рассеву на сите с отверстиями 0,14 мм.

При мокром рассеве отдельные части пробы, уложенные на сито, промывают струей чистой воды до полного удаления вяжущего. Промывку смеси считают законченной, когда из сита вытекает чистая вода.

Отмытые порции заполнителя переносят на чистый противень, высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С и взвешивают с погрешностью до 2 г.

Содержание заполнителя в верхней (нижней) частях уплотненной растворной смеси  $V$  в процентах определяют по формуле:

$$V = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100, \quad (10.2)$$

где

$m_1$  – масса отмытого высушенного заполнителя из верхней (нижней) части образца, г;

$m_2$  – масса растворной смеси, отобранной пробы из верхней (нижней) части образца, г.

Показатель расслаиваемости растворной смеси  $П_{РАСл}$  в процентах определяют по формуле:

$$П_{РАС} = \frac{\Delta V}{\Sigma V} \cdot 100, \quad (10.3)$$

где

$\Delta V$  – абсолютная величина разности между содержанием заполнителя в верхней и нижней частях образца, %;

$\Sigma V$  – суммарное содержание заполнителя верхней и нижней частей образца, %.

Показатель расслоения для каждой пробы растворной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 1% как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20% от меньшего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе растворной смеси.

#### 10.4 Определение водоудерживающей способности растворной смеси

**Водоудерживающую способность** определяют путем испытания слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенного на промокательную бумагу.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют с помощью прибора (рисунок 10.3).

Перед испытанием 10 листов промокательной бумаги взвешивают с погрешностью до 0,1 г, укладывают на стеклянную пластинку, сверху укладывают прокладку из марлевой ткани, устанавливают металлическое кольцо и еще раз взвешивают.

Тщательно перемешанную растворную смесь укладывают вровень с краями металлического кольца, выравнивают, взвешивают и оставляют на 10 мин.

Металлическое кольцо с раствором осторожно снимают вместе с марлей.

Промокательную бумагу взвешивают с погрешностью до 0,1 г.

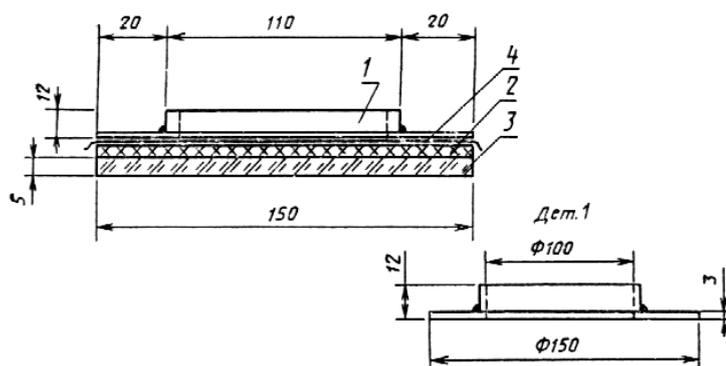


Рисунок 10.3 – Схема прибора для определения водоудерживающей способности растворной смеси

- 1 – металлическое кольцо с раствором; 2 – 10 слоев промокательной бумаги;
- 3 – стеклянная пластина; 4 – слой марлевой ткани

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют выраженным в процентах содержанием воды в пробе до и после эксперимента по формуле:

$$V = \left( 100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100 \right), \quad (10.4)$$

где

$m_1$  – масса промокательной бумаги до испытаний, г;

$m_2$  – масса промокательной бумаги после испытания, г;

$m_3$  – масса установки без растворной смеси, г;

$m_4$  – масса установки с растворной смесью, г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют дважды для каждой пробы растворной смеси и вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20% от меньшего значения.

### 10.5 Определение прочности раствора на сжатие

**Прочность раствора на сжатие** должна определяться на образцах-кубах размерами 70,7×70,7×70,7 мм в возрасте, установленном в стандарте или технических условиях на данный вид раствора. На каждый срок испытания изготавливают три образца.

Образцы из растворной смеси подвижностью до 5 см должны изготавливаться в формах с поддоном (рисунок 10.4) с использованием шпателя для уплотнения растворной смеси (рисунок 10.5).

Форму заполняют раствором в два слоя. Уплотнение слоев раствора в каждом отделении формы производят 12 нажимами шпателя: 6 нажимов вдоль одной стороны в б – в перпендикулярном направлении.

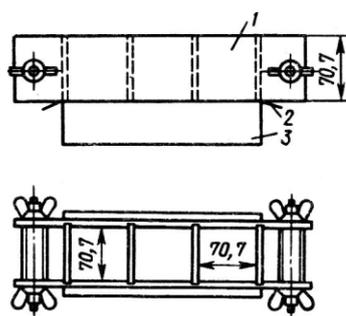


Рисунок 10.4 – Металлическая форма с поддоном

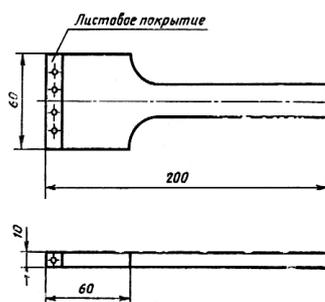


Рисунок 10.5 – Шпатель для уплотнения растворной смеси

Избыток раствора срезают вровень с краями формы смоченной водой стальной линейкой и заглаживают поверхность.

Образцы из растворной смеси подвижностью 5 см и более изготавливают в формах без поддона.

Форму устанавливают на кирпич, покрытый газетной бумагой, смоченной водой, или другой непроклеенной бумагой. Размер бумаги должен быть таким, чтобы она закрывала боковые грани кирпича. Кирпичи перед употреблением должны быть притерты вручную один о другой для устранения резких неровностей. Кирпич применяют глиняный обыкновенный влажностью не более 2% и водопоглощением 10–15% по массе. Кирпичи со следами цемента на гранях повторному использованию не подлежат.

Формы заполняют растворной смесью за один прием с некоторым избытком и уплотняют ее путем штыкования стальным стержнем 25 раз по концентрической окружности от центра к краям.

Формы, заполненные растворной смесью на гидравлических вяжущих, выдерживают до распалубки в камере нормального хранения при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 95–100 %, а формы, заполненные растворной смесью на воздушных вяжущих – в помещении при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $(65 \pm 10) \%$ .

Образцы освобождают из форм через  $(24 \pm 2)$  ч после укладки растворной смеси.

Образцы, изготовленные из растворных смесей, приготовленных на шлакопортландцементе, пуццолановых портландцементе с добавками замедлителями схватывания, а также образцы зимней кладки, хранившиеся на открытом воздухе, освобождают из форм через 2–3 сут.

После освобождения из форм образцы должны храниться при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . При этом должны соблюдаться следующие условия: образцы из растворов, приготовленных на гидравлических вяжущих, в течение первых 3 сут должны храниться в камере нормального хранения при относительной влажности воздуха 95–100 %, а оставшееся до испытания время – в помещении при относительной влажности воздуха  $(65 \pm 10) \%$  (из растворов, твердеющих на воздухе) или в воде (из растворов, твердеющих во влажной среде). Образцы из растворов, приготовленных на воздушных вяжущих,

должны храниться в помещении при относительной влажности воздуха ( $6 \pm 10$ )%.

### ***Проведение испытания***

Перед испытанием на сжатие (для последующего определения плотности) образцы взвешивают с погрешностью до 0,1% и измеряют штангенциркулем с погрешностью до 0,1 мм.

Перед установкой образца на пресс с контактирующих с гранями образца опорных плит пресса тщательно удаляют частицы раствора, оставшиеся от предыдущего испытания.

Образец устанавливают на нижнюю плиту пресса центрально относительно его оси так, чтобы основанием служили грани, соприкасавшиеся со стенками формы при его изготовлении.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины или пресса выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале 20–80% от максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью ( $0,6 \pm 0,4$ ) МПа [ $(6 \pm 4)$  кгс/см<sup>2</sup>] в секунду до его разрушения.

Достигнутое в процессе испытания образца максимальное усилие принимают за величину разрушающей нагрузки.

Предел прочности раствора на сжатие  $R$  вычисляют для каждого образца с погрешностью до 0,01 МПа (0,1 кгс/см<sup>2</sup>) по формуле:

$$R = \frac{P}{A}, \quad (10.5)$$

где

$P$  — разрушающая нагрузка, Н;

$A$  — рабочая площадь сечения образца, см<sup>2</sup>.

Рабочую площадь сечения образцов определяют по результатам измерения как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней.

Предел прочности раствора на сжатие вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний 3-х образцов.

### **10.6 Определение средней плотности раствора**

Плотность раствора определяют испытанием образцов-кубов с ребром 70,7 мм, изготовленных из растворной смеси рабочего состава, либо пластин размером 50×50 мм, взятых из швов конструкций. Толщина пластин должна соответствовать толщине шва.

Образцы изготавливают и испытывают сериями. Серия должна состоять из трех образцов.

Плотность раствора определяют испытанием образцов в состоянии естественной влажности или нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, нормальном, водонасыщенном. При определении плотности раствора в состоянии естественной влажности образцы испытывают сразу же после их отбора или хранят в паронепроницаемой упаковке или герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в 2 раза.

### **Проведение испытания**

Объем образцов вычисляют по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм.

Массу образцов определяют взвешиванием с погрешностью не более 0,1 %.

Плотность образца раствора  $\rho_p$  вычисляют с погрешностью до 1 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_p = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (10.6)$$

где

$m$  – масса образца, г;

$V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Плотность раствора серии образцов вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания всех образцов серии.

Плотность раствора при нормированном влажностном состоянии  $\rho_{PHB}$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho_{PHB} = \rho_p \frac{1 + \frac{W_H}{100}}{1 + \frac{W}{100}}, \quad (10.7)$$

где

$\rho_p$  – плотность раствора при влажности  $W_H$ , кгс/м<sup>3</sup>;

$W_H$  – нормированная влажность раствора, %;

$W$  – влажность раствора в момент испытания.

## **10.7 Определение влажности раствора**

Влажность раствора определяют испытанием образцов или проб, полученных дроблением образцов после их испытания на прочность или извлеченных из готовых изделий или конструкций.

Наибольшая крупность раздробленных кусков раствора должна быть не более 5 мм.

Образцы проб дробят и взвешивают сразу же после отбора и хранят их в паронепроницаемой упаковке или герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в два раза.

Подготовленные образцы или пробы взвешивают и высушивают до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

Гипсовые растворы высушивают при температуре  $45\text{--}55^\circ\text{C}$ .

Постоянной считают массу, при которой результаты двух последовательных взвешиваний отличаются не более чем на  $0,1\%$ . При этом время между взвешиваниями должно быть не менее 4 ч.

Перед повторным взвешиванием образцы охлаждают в эксикаторе с безводным хлористым кальцием или вместе с сушильным шкафом до комнатной температуры.

Взвешивание производят с погрешностью до  $0,1$  г.

Влажность раствора по массе  $W_M$  в процентах вычисляют с погрешностью до  $0,1\%$  по формуле:

$$W_M = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100, \quad (10.8)$$

где

$m_B$  – масса образца раствора до сушки, г;

$m_C$  – масса образца раствора после сушки, г.

Влажность раствора по объему  $W_O$  в процентах вычисляют с погрешностью до  $0,1\%$  по формуле:

$$W_O = \frac{W_M \cdot \rho_O}{\rho_B}, \quad (10.9)$$

где

$\rho_O$  – плотность сухого раствора;

$\rho_B$  – плотность воды, принимаемая равной  $1 \text{ г/см}^3$ .

Влажность раствора серии образцов определяют как среднее арифметическое результатов определения влажности отдельных образцов раствора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. ФГУП Стандартиформ, 2013.
2. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. ФГУП Стандартиформ, 2006.
3. ГОСТ Р 57349-2016/EN 772-1:2011. Кирпич и блоки. Метод определения прочности на сжатие. Официальное издание М.: Стандартиформ, 2017.
4. ГОСТ 125-2018 Вяжущие гипсовые. Технические условия. ФГУП Стандартиформ, 2018.
5. ГОСТ 2378-2018 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. ФГУП Стандартиформ, 2018.
6. ГОСТ 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Официальное издание М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
7. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола. Официальное издание М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
8. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объёма. Официальное издание М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
9. ГОСТ 310.4-76. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Официальное издание М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
10. ГОСТ 6139-2003. Песок для испытания цемента. Технические условия. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. [1] EN196-1 Методы испытаний цемента. Определение прочности.
11. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний, Госстрой комитет, 1988.
12. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Официальное издание М.: Стандартиформ, 2019.
13. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Росстандарт, 1998.
14. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2013.
15. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

16. ГОСТ 22685-89. Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия.
17. ГОСТ 27006-86. Правила подбора состава.
18. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы испытаний.
19. ГОСТ 23732-79. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.
20. ГОСТ 28013-98. Растворы строительные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2018.
21. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2018.
22. ГОСТ Р 57338-2016/ EN 1015-11; 1999+ A1:2006. Растворы строительные для каменной кладки. Метод определения предела прочности на сжатие и изгиб, М.: Стандартинформ, 2017.
23. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1986.
24. Домокеев А.Г. Строительные материалы. М.: Высш. школа, 1989.
25. Хигерович М.И. и др. Строительные материалы. М.: Стройитздат, 1970.
26. Широководюк В.К. Материаловедение. Технология конструкционных строительных материалов. Краснодар: КГАУ, 2007.
27. Широководюк В.К. и др. Материаловедение. Строительные материалы. Лабораторный практикум. Краснодар: КГАУ, 2010.

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Методические указания  
к выполнению лабораторных (практических) работ  
и самостоятельной работы*

Составители:

**Шаповалова** Ирина Николаевна  
**Долженко** Екатерина Николаевна  
**Безуглова** Екатерина Вячеславовна

Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Типография Кубанского государственного аграрного университета.  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13